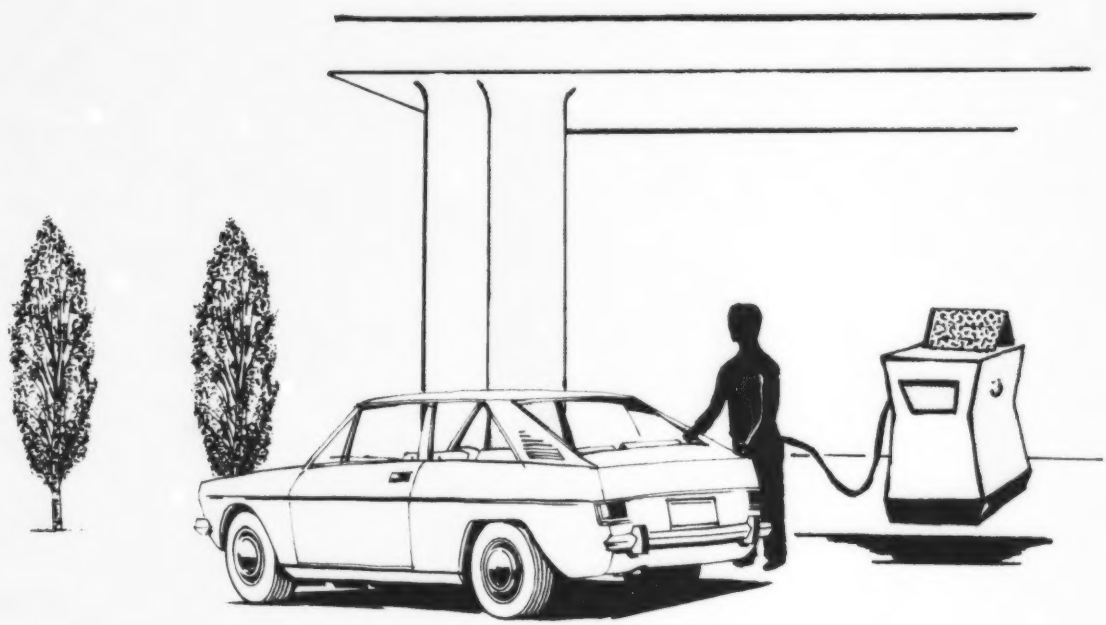
Élimination de l'essence au plomb

Répercussions sur les moteurs à essence en usage au Canada après 1990

Rapport SPE 3/TS/1
Octobre 1989

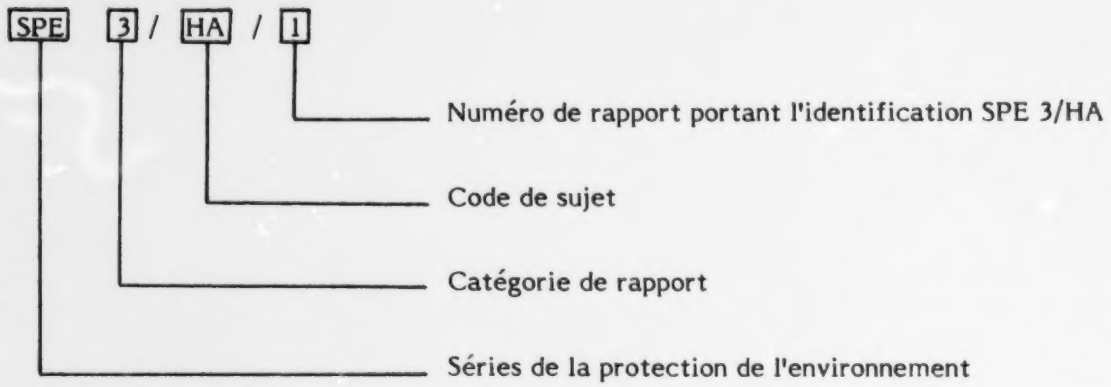


Environnement Canada Environment Canada

Canada

SÉRIES DE RAPPORTS DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Évaluation des problèmes et options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AN	Technologie anaérobie
AP	Pollutants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et l'environnement
CI	Industries chimiques
FA	Activités fédérales
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord et rurales
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SF	Traitement de surface
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthodes de référence normalisée
TS	Systèmes de Transport
TX	Textiles
UP	Pollution urbaine
WP	Protection/préservation du bois

Sujets et codes additionnels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

ÉLIMINATION DE L'ESSENCE AU PLOMB
Répercussions sur les moteurs à essence en usage au Canada après 1990

par

F.C. Lavallée
Division des systèmes de transport
Direction des programmes industriels
Protection de l'enviroonement
Conservation et Protection
Environnement Canada

et

L.P. Fedoruk
Division du contrôle des produits
Direction des produits chimiques commerciaux
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada

Rapport SPE 3/TS/1
Octobre 1989

90-01450/

Données de catalogage avant publication (Canada)

Lavallée, F. C.

Élimination de l'essence au plomb : répercussions sur les moteurs à essence en usage au Canada après 1990

(Rapport ; SPE 3/TS/1)
Publ. aussi en anglais sous le titre: The elimination of leaded motor gasoline.
Comprend des références bibliogr.
ISBN 0-662-95707-5
N° de cat. MAS En49-1/3-1F

1. Essence -- Canada. 2. Automobiles -- Carburants -- Consommation. 3. Carburants -- Canada. 4. Moteurs à combustion interne. I. Fedoruk, L.P. II. Canada. Direction générale de la protection de l'environnement. III. Canada. Environnement Canada. IV. Titre. V. Collection: Rapport (Canada. Environnement Canada); SPE 3/TS/1.

TP692.2L3814 1989 665.5'3827 C89-097152-8

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989
No de catalogue En 49-1/3-1F
ISBN 0-662-95707-5
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Les lecteurs qui le désirent peuvent faire parvenir leurs commentaires sur ce rapport à l'adresse indiquée ci-après:

L.P. Fedoruk
Division du contrôle des produits
Direction des produits chimiques commerciaux
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Publication
distribuée par la Section des publications
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0E7

Édition française de
The elimination of leaded motor gasoline and its effect on Canadian gasoline engines beyond 1990
préparée par le Module d'édition française
du Centre Saint-Laurent

English copy available at the above mentioned address

RÉSUMÉ

Le nombre de véhicules alimentés à l'essence sans plomb est sans cesse à la hausse au Canada. De plus, l'essence au plomb sera retirée du marché à compter du 1er décembre 1990, à quelques exceptions près.

Un certain nombre de voitures, de camions, de machines agricoles, de bateaux, de motocyclettes, de voitures et bateaux anciens, de tondeuses à gazon et autres équipements de jardinage, conçus pour fonctionner à l'essence au plomb, seront encore en service à cette date. Or, l'utilisation d'essence sans plomb dans ces cas risque d'accélérer l'usure des sièges de soupape (communément appelée affaissement de soupape).

Il est question dans ce rapport des propriétés du plomb tétraéthyle et de ses effets sur les moteurs. Le nombre de véhicules, de machines et d'équipements divers qui seront exposés à l'affaissement de soupape a été estimé afin d'examiner l'étendue du problème et les solutions possibles pour l'atténuer.

ABSTRACT

Increasingly in Canada, more vehicles are using unleaded gasoline as fuel. In fact, leaded gasoline will be banned in Canada, with a few exceptions, by December 1, 1990. However, there are still a number of older vehicles and motor-powered equipment in operation that were designed to use leaded gasoline. These would experience valve seat recession if unleaded gasoline is used. This report examines the problem of valve seat recession and discusses various solutions.

The properties of tetraethyl lead and its effects on engines are also discussed. Engines used in cars, trucks, farm machinery, boats, motor cycles, antique cars and boats, and lawn and garden equipment are examined for their ability to operate on unleaded gasoline and their potential for suffering valve seat recession.

Canadian vehicle populations are estimated for the equipment at risk of valve seat recession, and conclusions are reached about the magnitude of the problem and alternatives available to lessen its severity.

REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier Doug Cope, Jim Armstrong, Art Jacques, Ron Solman et Jonah Libman d'Environnement Canada pour leur aide dans la préparation et l'examen du présent rapport.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ		IV
ABSTRACT		IV
REMERCIEMENTS		V
LISTE DES TABLEAUX		VIII
LISTE DES FIGURES		VIII
SOMMAIRE		IX
1	**Introduction**	1
2	**Plomb tétraéthyle**	3
3	**Demande d'essence au plomb**	5
4	**Réglementation de la teneur en plomb de l'essence**	7
5	**Effets de l'essence au plomb sur les moteurs**	9
5.1	Usure des sièges de soupape	10
5.2	Lubrifiants pour soupapes	10
6	**Risques d'usure des sièges de soupape lors de l'utilisation de l'essence sans plomb et leurs conséquences**	12
6.1	Effet du type de mécanisme de commande des soupapes	12
6.2	Effets des conditions d'utilisation sur l'usure des sièges de soupape	14
6.3	Voitures et camions légers	14
6.4	Poids lourds	16
6.5	Équipement agricole	18
6.6	Bateaux	20
6.7	Motocyclettes	20
6.8	Voitures et bateaux anciens	21
6.9	Équipement horticole	21
6.10	Discussion - Comment faire face à l'élimination de l'essence au plomb?	22
7	**Nombre de véhicules susceptibles de présenter des signes d'usure des sièges de soupape en 1990**	24
7.1	Véhicules routiers	24
7.2	Équipement agricole	24
7.2.1	Tracteurs	24
7.2.2	Moissonneuses-batteuses	27
7.3	Bateaux	28
7.3.1	Bateaux de plaisance	28
7.3.2	Bateaux de pêche	28

8	**Conclusions**		29
	Références		30
	ANNEXE A	Utilisation de divers types de sièges de soupape sur les camions	33
	ANNEXE B	Moteurs testés et conditions dans lesquelles les essais se sont déroulés	37
	ANNEXE C	Tracteurs agricoles et moissonneuses-batteuses à essence et à diesel (Estimations pour la période 1981 à 1993)	45
	ANNEXE D	LISTE DES ASSOCIATIONS CONTACTÉES	55

LISTE DES TABLEAUX

1	Nombre de véhicules routiers exposés à des risques d'usure des soupapes sous des conditions d'utilisation rigoureuses, après le retrait de l'essence au plomb en 1990, selon la catégorie de risques	25
2	Estimations du nombre de tracteurs diesel et à essence qui seront en service en 1990	26
3	Estimations du nombre de moissonneuses-batteuses à diesel et à essence en 1990	27

LISTE DES FIGURES

1	Ventes d'essence au plomb en pourcentage des ventes totales	5
2	Influence des règlements limitant la teneur en plomb de l'essence et de l'introduction des convertisseurs catalytiques sur les quantités totales de plomb utilisé par les raffineries	7

SOMMAIRE

Le 21 juin 1986, le ministre de l'Environnement annonçait dans la Partie I de la *Gazette du Canada* que le plomb (Pb) serait éliminé du carburant pour automobiles à compter du 31 décembre 1992. Comme des recherches effectuées par la suite ont révélé que des concentrations sanguines en plomb encore plus faibles que celles qui avaient été établies jusque-là pouvaient nuire à la santé des enfants, les ministres d'Environnement Canada et de Santé et Bien-être social Canada annonçaient, le 13 septembre 1988, que la date prévue pour le retrait de l'essence au plomb était avancée au 1er décembre 1990.

Cependant, une essence ne contenant que 26 mg de plomb par litre pourra être utilisée pour l'équipement agricole, les bateaux de pêche commerciale et les camions de plus de 3856 kg (PNBV) (poids nominal brut du véhicule), afin de prévenir l'usure rapide de certains moteurs conçus pour fonctionner à l'essence au plomb et qui seront encore en service. Parmi les véhicules et autres équipements motorisés qui ont besoin de l'effet lubrifiant du plomb pour prévenir l'usure des sièges de soupape (communément appelée affaissement de soupape), mentionnons les voitures de modèles antérieurs à 1972, les camions légers (modèles antérieurs à 1974), les camions lourds construits avant 1988 ainsi que les moteurs de bateaux à quatre temps, les tracteurs agricoles et les moissonneuses-batteuses.

Dans le présent rapport, l'usure prématurée des sièges de soupape désigne l'usure plus rapide découlant de l'utilisation d'essence sans plomb. Or, l'usure prématurée ou accélérée des sièges de soupape finit par nuire au fonctionnement du moteur, lequel doit alors être mis au rebut, remplacé ou refait, suivant son âge et son état de fonctionnement.

Des quelque seize millions de véhicules routiers au Canada, environ 629 000 (soit 3,7 p. 100) pourraient subir une usure prématurée des sièges de soupape. Cependant, selon des études effectuées aux États-Unis, 0,5 p. 100 au plus des véhicules à risques seraient touchés par ce problème advenant l'élimination complète de l'essence au plomb. Les projections établies pour 1990 révèlent par ailleurs que seulement 16 p. 100 des quelque 663 000 tracteurs agricoles de plus de 20 H.P. seront dotés de moteurs conçus pour l'essence au plomb. La plupart de ces tracteurs auront une puissance de 20 à 40 H.P. et en moyenne seront en service depuis 31 ans. Enfin, on estime que 36 p. 100 seulement des tracteurs à essence, soit 6 p. 100 de l'ensemble du parc de tracteurs agricoles, seront exposés à l'usure prématurée des sièges de soupape, laquelle dépendra du type de sièges de soupape équipant le moteur et de l'usage qui sera fait du tracteur.

On estime qu'à la fin de 1990, quelque 109 000 moissonneuses-batteuses seront en service. De ce nombre, environ 49 p. 100 seront équipées d'un moteur à essence et la durée de service moyenne est évaluée à 24 ans. En raison de la charge élevée imposée à ces machines et des vitesses élevées de fonctionnement, il y a risque de détérioration rapide des sièges de soupape des moteurs de ces machines advenant qu'on soit forcé d'utiliser de l'essence sans plomb.

L'utilisation d'une essence à faible teneur en plomb permettrait toutefois de prévenir l'usure des soupapes. Une autre solution serait d'ajouter à l'essence sans plomb un lubrifiant autre que le plomb; enfin, il serait possible d'améliorer les moteurs de façon peu coûteuse en apportant les correctifs nécessaires lors de la révision régulière du moteur.

1 INTRODUCTION

Le 1er juin 1986, le ministre de l'Environnement annonçait dans la Partie I de la *Gazette du Canada* que le *Règlement sur l'essence au plomb* serait modifié afin d'éliminer complètement, à compter du 31 décembre 1992, le plomb dans les carburants destinés aux véhicules dotés de moteur à allumage par étincelle. Cependant, à la suite de recherches effectuées subséquemment sur les effets du plomb sur la santé des enfants, le ministre annonçait le 13 septembre 1988 que la date prévue pour l'élimination du plomb dans l'essence était avancée au 1er décembre 1990.

Il sera néanmoins permis d'utiliser une essence à faible teneur en plomb pour les machines agricoles, les équipements commerciaux et les bateaux dont les moteurs ont besoin de l'effet lubrifiant du plomb pour empêcher l'usure excessive des sièges de soupape. Cette essence à faible teneur en plomb ne sera toutefois pas offerte partout. En effet, certains fournisseurs pourraient décider de cesser la fabrication de ce carburant à cause des règlements qui en limiteront la distribution ou encore de la faible demande. La préférence des utilisateurs pourrait également favoriser l'essence sans plomb, car le stockage des deux types de carburant pose certains problèmes d'ordre pratique.

Ce rapport traite du problème de l'usure des sièges de soupape et examine diverses solutions possibles. Le problème qui se pose peut être défini comme suit: "Advenant l'impossibilité de se procurer de l'essence au plomb, quels moyens pourrait-on prendre pour protéger adéquatement les moteurs conçus pour ce type de carburant?"

La solution préférable pour un type particulier de moteur dépendra de l'offre d'essence à faible teneur en plomb, de l'état du moteur, du type de machine qu'il équipe, ainsi que des heures d'utilisation et de l'intensité des tâches à accomplir. Ce rapport traite des diverses solutions qui s'offrent et fournit des renseignements sur les moteurs (type, grosseur et nombre) susceptibles d'être endommagés par l'utilisation d'essence sans plomb. Nous présentons également des estimations sur le nombre de moteurs à risques qui seront encore en utilisation.

L'essence au plomb est définie comme une essence à laquelle du plomb a été ajouté pour en améliorer l'indice d'octane, alors que l'essence à faible teneur en plomb est un carburant auquel on a ajouté au plus 26 mg de plomb par litre comme lubrifiant. Cette teneur en plomb n'améliore que très peu l'indice d'octane.

Aucune quantité de plomb n'est ajoutée volontairement à l'essence sans plomb. Cependant, comme le même réseau de distribution est utilisé pour l'essence au plomb et l'essence sans plomb, l'essence sans plomb peut aux termes des règlements actuels

contenir jusqu'à un maximum de 13 mg de plomb par litre, ce qui évite une trop forte contamination. En moyenne, la teneur est toutefois bien inférieure à la limite permise.

2 PLOMB TÉTRAÉTHYLE

Le plomb tétraéthyle ($Pb(C_2H_5)_4$) (TEL) a été mis au point durant les années 1920 dans le but d'élever l'indice d'octane de l'essence. À cette époque, les procédés de raffinage ne permettaient pas d'obtenir une essence ayant un indice d'octane suffisamment élevé pour les moteurs alors construits. À l'origine, les additifs au plomb étaient vendus dans de petites bouteilles et le détaillant versait le produit dans le réservoir au moment du plein d'essence. Le plomb est toutefois un produit très toxique et le TEL est facilement absorbé par la peau. Aussi, lorsque les dangers associés à la manipulation du TEL ont été connus, l'industrie a établi des normes de manipulation très strictes.

Aujourd'hui, les additifs au plomb ne sont vendus qu'aux entreprises de raffinage ou de mélange de l'essence, sous forme de mélange préemballé contenant du TEL, ou du plomb tétraméthyle avec du dichlorure d'éthylène ($ClCH_2CH_2Cl$), ou du dibromure d'éthylène ($BrCH_2CH_2Br$), lesquels empêchent la formation excessive de dépôts de plomb dans le moteur.

En raison des dangers associés à la manipulation des additifs au plomb, les fabricants ne vendent ces produits qu'aux personnes qualifiées pour les manipuler et ils en interdisent la vente à quiconque a l'intention de les revendre aux consommateurs.

L'addition de plomb à l'essence a pour but d'accroître son pouvoir antidétonant. Dans un moteur à essence, la combustion commence au niveau des bougies d'allumage et se propage vers les parois extérieures de la chambre de combustion. À mesure que le mélange air-essence brûle, la température s'élève, ce qui a pour effet de comprimer et de chauffer le reste du mélange à mesure que la flamme se répand et brûle tout le mélange contenu dans le cylindre.

Lorsqu'il y a inflammation spontanée d'une partie du mélange avant l'arrivée du front des flammes, il se produit une impulsion à haute pression qui ressemble à un cognement ou un cliquetis. Cette impulsion a l'effet d'un coup de marteau sur le moteur et augmente sensiblement l'effort mécanique et le transfert de chaleur aux parois de la chambre de combustion et au piston. Bien qu'un cognement léger sous une faible charge ne soit pas grave, un cognement lourd sous une forte charge peut provoquer une panne de moteur.

L'indice d'octane indique la résistance de l'essence à la détonation. Cet indice se mesure au moyen d'un moteur spécial qui compare l'essence à des mélanges faits de deux produits chimiques purs, soit l'iso-octane ($(CH_3)_3C - CH_2 - CH(CH_3)_2$) et le *n*-heptane ($H_3C - (CH_2)_5 - CH_3$). L'iso-octane pur a un indice de 100, comparativement à

un indice de 0 pour le *n*-heptane. Ainsi, une essence ayant un indice d'octane de 90 affiche la même résistance à la détonation qu'un mélange fait de 90 p. 100 d'iso-octane et de 10 p. 100 de *n*-heptane. L'indice d'octane moteur (IOM) et l'indice d'octane recherche (IOR) sont fréquemment utilisés pour mesurer l'indice d'octane de l'essence automobile. La différence entre les deux tient aux conditions de fonctionnement du moteur ordinaire utilisé pour établir l'indice d'octane; ainsi, l'essence ne réagit pas de la même façon que les mélanges d'iso-octane et de *n*-heptane. En général, le IOM est moins élevé que le IOR. L'indice d'octane affiché dans les stations-service est en fait l'indice antidétonant, lequel correspond à la moyenne entre le IOM et le IOR.

La mise sur le marché du TEL a permis aux raffineurs de produire des essences à indice d'octane plus élevé et aux fabricants d'automobiles, d'accroître le taux de compression des moteurs, ce qui en augmente la puissance et l'efficacité. Grâce aux nouveaux procédés de raffinage et à des additifs autres que le plomb maintenant offerts sur le marché, il n'est plus nécessaire d'ajouter du plomb à l'essence pour obtenir l'indice d'octane recherche.

3 DEMANDE D'ESSENCE AU PLOMB

Depuis l'introduction de l'essence sans plomb, en 1972, la demande pour l'essence au plomb n'a cessé de diminuer et, depuis quelque temps, la baisse est encore plus marquée (figure 1). En mai 1984, l'essence au plomb représentait environ 56 p. 100 de la demande d'essence au Canada; en décembre 1987, cette proportion n'était plus que de 31 p. 100 (1). La baisse a été encore plus forte dans les grandes villes comme Montréal et Toronto, où les ventes d'essence au plomb étaient tombées à respectivement 12 et 16 p. 100.

Le 1er septembre 1987, la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles* a été modifiée afin de rendre plus strictes les normes régissant les émissions des véhicules légers. Afin de rencontrer ces normes, tous les camions légers et voitures modèles 1988 et

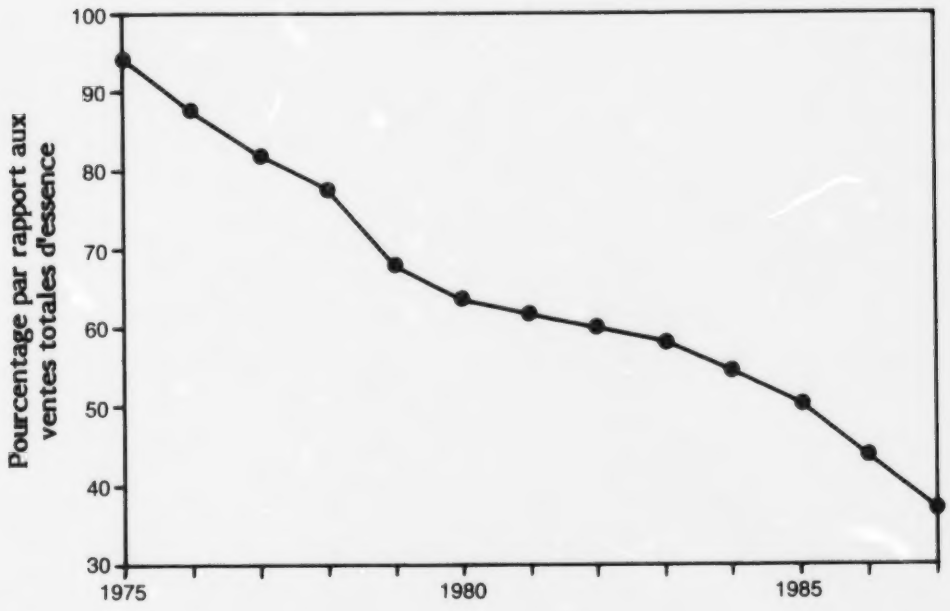


Figure 1

Ventes d'essence au plomb en pourcentage des ventes totales

années ultérieures sont munis d'un convertisseur catalytique. Or, comme ces convertisseurs ne peuvent tolérer le plomb, il faut nécessairement utiliser de l'essence sans plomb. Certains véhicules respectaient toutefois les anciennes normes en matière d'émissions sans être pourvus d'un catalyseur et pouvaient de ce fait utiliser de l'essence au plomb. Cependant, comme un grand nombre de nouveaux moteurs sont maintenant munis d'une sonde à oxygène, il est encore moins tentant d'utiliser à tort de l'essence au plomb vu que celui-ci encrasse ces sondes, ce qui a des effets sur la consommation d'essence et sur la conduite du véhicule.

Un règlement similaire touchant cette fois-ci les poids lourds est entré en vigueur le 1er décembre 1988. En vertu de ce nouveau règlement, les camions de moins de 6363 kg (14 000 lb) (PNBV) doivent eux aussi être munis d'un catalyseur et par conséquent, être alimentés à l'essence sans plomb. La majorité des poids lourds à essence entrent dans cette catégorie. Par conséquent, le nombre de nouveaux véhicules pouvant encore utiliser de l'essence au plomb ne représentera qu'une faible proportion de l'ensemble de la flotte.

Aux États-Unis, la demande d'essence au plomb a diminué encore plus rapidement qu'au Canada et ne représente plus que 20 p. 100 environ de la demande totale. Dans certaines régions, un grand nombre de stations-service ne vendent plus d'essence au plomb; celle-ci demeure néanmoins facile à trouver dans les régions agricoles.

Lorsque la demande pour l'essence au plomb n'atteindra plus que 10 ou 15 p. 100 des ventes, il est probable que les raffineurs se montreront réticents à en produire. Certaines raffineries américaines en ont déjà cessé la production. Selon les estimations, la demande d'essence au plomb atteindra le seuil des 10 à 15 p. 100 au Canada avant 1992-1993. Il faut donc s'attendre à ce que ce carburant devienne un produit d'exception, qui ne sera fabriqué que par quelques producteurs seulement.

Les dangers associés à l'utilisation et à la manipulation du plomb tétraéthyle sont apparus durant les années 1920, à la suite de l'intoxication d'un certain nombre de travailleurs de l'industrie de fabrication des additifs au plomb. Les fabricants et les utilisateurs du produit ont alors réagi en améliorant les techniques de manutention.

D'autres études sur les effets du plomb sur l'homme ont amené le United States' Surgeon General à établir des normes volontaires pour limiter à 3 cm^3 de TEL/gal américain la teneur en plomb de l'essence. Cependant, comme il s'agissait de la teneur maximale alors appliquée par les raffineurs, cette norme n'a pas vraiment imposé de nouvelles restrictions. En 1958, le United States' Surgeon General a élevé la teneur acceptable à 4 cm^3 de TEL/gal américain (ce qui équivaut à 4,23 g de Pb/gal américain ou à 1,12 g de Pb/l). Durant les années 1950 et 1960, la teneur en plomb de l'essence s'établissait en moyenne à 0,63 g/l.

Au cours des dernières années, la teneur en plomb de l'essence a diminué par suite de l'adoption des règlements limitant la quantité de plomb dans l'essence pour automobiles et de l'introduction des voitures et des camions munis d'un convertisseur catalytique (figure 2). En 1974, le maximum de plomb admissible dans l'essence sans plomb a été fixé à 13 mg/l au Canada (2).

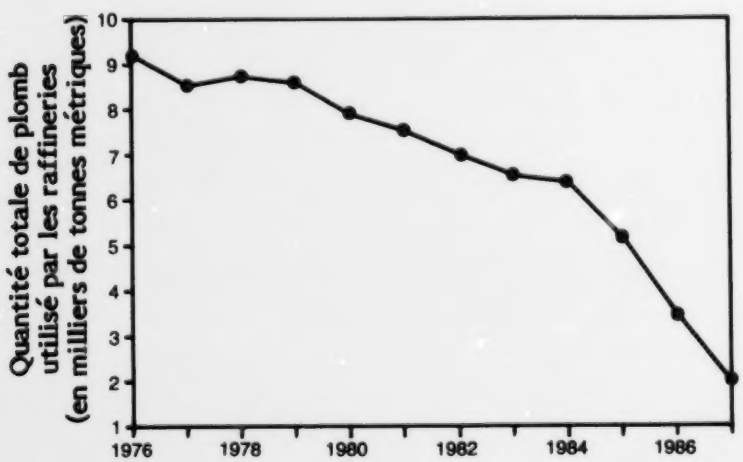


Figure 2

Influence des règlements limitant la teneur en plomb de l'essence et de l'introduction des convertisseurs catalytiques sur les quantités totales de plomb utilisé par les raffineries

Le 1er janvier 1976 (3), la teneur maximale en plomb de l'essence au plomb était fixée à 770 mg/l, puis elle a été réduite à 290 mg/l le 1er janvier 1987 (4). Le gouvernement fédéral a pris la décision d'éliminer complètement le plomb de l'essence pour automobiles à compter du 1er décembre 1990, en autorisant toutefois la distribution limitée d'une essence à faible teneur en plomb (26 mg/l) pour certains équipements.

5 EFFETS DE L'ESSENCE AU PLOMB SUR LES MOTEURS

Le principal effet du plomb tétraéthyle est d'accroître l'indice d'octane de l'essence. Son seul effet bénéfique sur le moteur résulte de la formation de dépôts d'oxyde de plomb et de sulfure de plomb à la surface des soupapes d'échappement et des sièges de soupape, dépôts qui empêchent le contact entre deux pièces de métal et réduisent ainsi l'usure des soupapes et des sièges de soupape. Il a par contre un certain nombre d'effets secondaires qui influent sur la durabilité du moteur.

À la suite de l'introduction des convertisseurs catalytiques, lesquels requièrent de l'essence sans plomb, certains moteurs ont dû être améliorés pour compenser l'absence de lubrifiants, ce qui a habituellement été fait en durcissant par induction les sièges de soupape des moteurs dotés d'une culasse en fonte.

Si d'une part le plomb tétraéthyle prévient l'usure des soupapes et des sièges de soupape, il peut endommager, par contre, les soupapes. En effet, les dépôts d'oxyde et de sulfure de plomb qui s'accumulent peuvent se détacher et créer ainsi un passage par lequel s'échapperont les gaz de la culasse qui viendront s'attaquer au collet de soupape ou aux sièges de soupape.

Les produits qui servent à prévenir l'accumulation des dépôts de plomb dans le moteur (appelés à tort décrassants) peuvent également attaquer la couche protectrice d'oxyde sur le collet de soupape et ainsi corroder et affaiblir le métal. Un canal peut alors se former dans la soupape; les gaz d'échappement chauds viendront éroder la soupape, laquelle cessera alors de fonctionner.

Les "décrassants" chlorés contenus dans l'essence au plomb peuvent se mélanger à l'eau dans la chambre de combustion et former un acide qui accélère la corrosion interne du moteur et réduit la durée du système d'échappement. Ces "décrassants" réduisent également la durée des bougies et de l'huile à moteur.

L'élimination du plomb de l'essence occasionnera davantage de problèmes d'usure des sièges de soupape sur certains moteurs. En revanche, cette mesure permettra de prolonger la durabilité des bougies et des systèmes d'échappement en plus de réduire la corrosion du moteur et les problèmes de soupapes grillées. Les enquêtes et les essais effectués sur les véhicules automobiles n'ont révélé qu'une faible augmentation des problèmes d'usure des sièges de soupape avec l'essence sans plomb; dans l'ensemble toutefois, le nombre de problèmes associés aux soupapes est demeuré inchangé et a parfois même diminué par rapport aux véhicules alimentés à l'essence au plomb (6, 7, 8).

5.1 Usure des sièges de soupape

L'élimination du plomb pourrait provoquer dans certains moteurs une usure prématurée des sièges des soupapes d'échappement, usure communément appelée affaissement de soupape. Les soupapes d'échappement et les sièges de soupape sont exposés à des chaleurs intenses et à des charges mécaniques très fortes lorsque la soupape s'ouvre pour laisser s'échapper les gaz très chauds à l'extérieur du cylindre et qu'elle se referme rapidement contre le siège. Des oxydes de fer (FeO_2, FeO_3) se forment à la surface des sièges de soupape. À vitesse et à charge élevées, de petites sections de la soupape et du siège de soupape se soudent ensemble. Lorsque la soupape s'ouvre de nouveau, ces sections soudées se détachent du siège de soupape et des saillies se forment sur la soupape. Ces aspérités martèlent le siège de la soupape chaque fois qu'elle se renferme, ce qui à la longue provoque la détérioration, le fendillement, l'effritement et finalement l'érosion du siège de soupape (9, 10). À mesure que le siège s'use, la soupape s'affaisse encore plus profondément dans la culasse, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus aucun jeu. C'est ce qu'on appelle affaissement de soupape.

Les poussoirs hydrauliques peuvent s'adapter à un affaissement de 1,8 à 3,0 mm (0,070 à 0,120 po). Dans le cas des poussoirs mécaniques, il y a beaucoup moins de jeu à l'intérieur du dispositif de commande; ils doivent donc être réglés fréquemment. À mesure que la soupape s'affaisse à l'intérieur de la culasse, le moteur tourne mal au ralenti et il perd de la puissance à cause de la mauvaise circulation des gaz autour de la soupape d'échappement usée. Dans certains cas, la soupape altérée ne se ferme pas hermétiquement et les gaz d'échappement viennent percer la soupape.

5.2 Lubrifiants pour soupapes

Selon certains chercheurs, la teneur en plomb permise dans l'essence au plomb aux États-Unis (26 mg/l) n'est pas suffisante pour protéger tous les moteurs contre l'usure des sièges de soupape. Les essais effectués par le National Institute for Petroleum Energy Research (NIPER) révèlent toutefois que cette teneur suffit à protéger tous les moteurs testés aux conditions d'essais utilisées (11).

Durant un des essais sur le moteur GM 292 (4,8 l), qui est dépourvu de sièges de soupape trempés par induction, il y a eu affaissement de soupape. Il semble toutefois que le problème était dû à la détérioration du joint de culasse, ce qui a permis aux gaz de circuler entre deux cylindres. Le joint d'étanchéité a été remplacé durant le test, mais l'usure s'est poursuivie. Ce problème ne s'est toutefois pas produit lors d'un deuxième essai effectué avec la même essence à faible teneur en plomb. Par ailleurs, selon d'autres essais

effectués à vitesse et à charge plus élevées, une teneur en plomb de 50 mg/l suffit à protéger tous les moteurs soumis à des conditions de fonctionnement rigoureuses et aucun autre additif n'est requis (10, 12, 13).

Les essais de la Ethyl Corporation révèlent que l'on peut réduire l'usure des sièges de soupape en ajoutant à l'essence à faible teneur en plomb du méthylcyclopentadiényl manganèse tricarbonyle (MMT), un produit qui augmente l'indice d'octane. Au Canada, ce produit est actuellement ajouté aux essences sans plomb et au plomb et on s'attend à ce qu'il le soit également à l'essence à faible teneur en plomb. On pourrait ainsi obtenir une meilleure protection contre l'usure des sièges de soupape que ce qui a été démontré lors des programmes d'essais menés aux États-Unis.

Comme le plomb tétraéthyle n'est pas disponible aux consommateurs ordinaires, l'incorporation d'additifs sans plomb à l'essence sans plomb, pour lubrifier les soupapes et les sièges de soupape, constitue une solution de rechange facile et peu coûteuse. À l'heure actuelle, il en coûte entre moins de 0,02 $/l et 0,12 $/l pour incorporer de tels additifs à l'essence sans plomb, les coûts variant selon le type d'additif utilisé, la quantité achetée et la quantité ajoutée.

De même, dans le cas d'un moteur qui est peu utilisé mais auquel on impose toujours un effort considérable, il est plus avantageux d'ajouter un additif sans plomb à l'essence que de reconditionner le moteur. Pour les moteurs exposés constamment à des conditions de fonctionnement extrêmes, on aura avantage à utiliser des additifs sans plomb comme suppléments à l'essence à faible teneur en plomb.

Bien que les additifs sans plomb se soient révélés aussi efficaces contre l'usure des sièges de soupape qu'une essence contenant 26 mg de plomb/l, on ne possède encore que peu de données sur les quantités exactes à utiliser et leurs effets à long terme (11, 13).

Les essais effectués avec les additifs sans plomb fabriqués par Lubrizol et Dupont ont révélé que les produits de Dupont réduisaient le taux d'usure des sièges de soupape aux teneurs testées (11). Des dépôts se sont toutefois formés dans les soupapes d'admission à un point tel qu'une des soupapes ne pouvait plus se refermer et a commencé à brûler. De son côté, le produit "Powershield" de la compagnie Lubrizol a réduit l'usure des sièges de soupape aux teneurs recommandées par le fabricant. L'utilisation de teneurs quatre fois plus élevées que celles recommandées a par ailleurs permis de stopper complètement le processus d'usure. On a toutefois découvert des dépôts dans la tubulure d'admission et dans la chambre de combustion, une fois les essais terminés.

6 RISQUES D'USURE DES SIÈGES DE SOUPAPE LORS DE L'UTILISATION DE L'ESSENCE SANS PLOMB ET LEURS CONSÉQUENCES

Ce chapitre traite des risques d'usure des sièges de soupape associés à l'utilisation d'essence sans plomb dans divers types de moteurs conçus pour l'essence au plomb, et des conséquences. Un grand nombre mais non la totalité des utilisateurs d'appareils fonctionnant à l'essence au plomb pourront se procurer une essence à faible teneur en plomb. Cependant, certains exploitants préféreront utiliser l'essence sans plomb, soit parce qu'elle sera plus facile à se procurer ou par désir de réduire le nombre de carburants à stocker.

Par ailleurs, l'essence à faible teneur en plomb sera elle aussi de plus en plus difficile à trouver à mesure que la demande pour ce produit diminuera. Nous examinons à la fin de ce chapitre divers moyens de faire face à une transition à l'essence sans plomb.

Le résultat le plus frappant qui ressort des essais effectués jusqu'à maintenant tient à la différence qui existe entre, d'une part, l'usure des sièges de soupape observée dans les moteurs couplés à un dynamomètre ou soumis à des essais contrôlés à haute vitesse et, d'autre part, l'usure observée sur les flottes de véhicules. Les essais effectués en laboratoire ont démontré que la durabilité des sièges de soupape variait considérablement selon qu'on utilise de l'essence au plomb ou de l'essence sans plomb, surtout dans le cas des moteurs munis de sièges de soupape non durcis (11, 13).

On n'a toutefois pas décelé de telles différences dans les essais effectués dans des conditions d'opération normales (6, 7, 8). Or, en pratique, les moteurs sont rarement soumis à des conditions aussi extrêmes que celles appliquées durant les essais en laboratoire qui visent expressément à déceler les problèmes de durabilité.

L'usure des sièges de soupape aura des effets différents suivant le type de véhicules et d'équipement. Il est question dans les sections qui suivent des risques d'affaissement et des problèmes qui s'ensuivent.

6.1 Effet du type de mécanisme de commande des soupapes

À la fin des années 1960 et au début des années 1970, les fabricants d'automobiles et les raffineurs ont compris qu'il devenait nécessaire de doter les voitures et les camions légers d'un convertisseur catalytique s'ils voulaient se conformer aux règlements antipollution prévus pour le milieu des années 1970. Par le fait même, l'utilisation d'essence sans plomb dans ces véhicules s'imposait puisque le plomb endommage les convertisseurs.

À cette époque, les sièges de soupape dans les moteurs de la plupart des voitures et camions légers étaient usinés directement dans la culasse de fonte. Or, des essais avaient révélé que les sièges des soupapes d'échappement en fonte s'usaient plus rapidement avec de l'essence sans plomb. Pour remédier à ce problème et accroître la résistance des sièges de soupape, les fabricants d'automobiles ont procédé au trempage par induction de la fonte autour de chaque siège de soupape.

Le trempage par induction consiste en un traitement thermique localisé; un courant électrique induit chauffe la fonte en surface. La fonte chauffée au rouge est ensuite rapidement refroidie. Le durcissement de la fonte autour du siège de soupape permet de réduire l'affaissement de 75 p. 100 (10).

Dans les nouveaux moteurs dont la culasse n'est pas suffisamment dure, des sièges de soupape rapportés sont utilisés pour accroître la durabilité. Ces pièces servent également à réparer les sièges de soupape usés. Les moteurs avec culasse en aluminium sont tous munis de sièges rapportés dans les soupapes d'échappement et d'admission, quel que soit le type d'essence pour lequel ils sont conçus. De même, certaines culasses de fonte sont elles aussi dotées de sièges de soupape rapportés en raison des risques d'affaissement qui pourraient se produire même avec de l'essence au plomb, sous des conditions d'utilisation exigeantes.

Les sièges de soupape rapportés sont installés dans une chapelle ou une cuvette montée autour de chaque orifice d'admission ou d'échappement. Un ajustage serré de la cuvette usinée permet de s'assurer que le siège rapporté restera bien en place en dépit des grands écarts de température qui se produisent lorsque le moteur est en marche. Un ajustage serré favorise également la transmission de la chaleur depuis le siège de soupape rapporté jusqu'à la culasse.

La qualité des sièges de soupape rapportés varie. Les techniques les plus récentes consistent à agglomérer par frittage des métaux en poudre pour former un siège de soupape. Des lubrifiants à haute température peuvent également y être incorporés. Des alliages de métaux, auparavant impossibles à réaliser, peuvent maintenant être obtenus par frittage.

Les sièges de soupape rapportés qui offrent le moins de résistance à l'usure se comparent aux culasses en fonte ordinaire, alors que ceux considérés comme les meilleurs résistent bien aux conditions de fonctionnement les plus exigeantes, même avec de l'essence sans plomb (14, 15).

6.2 Effets des conditions d'utilisation sur l'usure des sièges de soupape

Le degré d'usure des sièges de soupape dépend avant tout de la vitesse du moteur et, dans une moindre mesure, de sa charge (16, 17). Ainsi, Giles et Updike ont constaté que l'usure augmentait rapidement lorsque le moteur d'une voiture modèle 1970 était couplé à un dynamomètre à plus de 3000 tours-minute (17), ce qui correspond à une vitesse d'environ 113 km/h (70 mi/h).

Les essais et les enquêtes effectués depuis le début des années 1970 montrent que peu de véhicules ont présenté des problèmes d'affaissement de soupape à la suite de l'utilisation d'essence sans plomb (6, 18). En effet, les conditions de fonctionnement "normales" des automobiles ne sont pas suffisamment rigoureuses pour provoquer l'usure des sièges de soupape en fonte mous.

6.3 Voitures et camions légers

L'étude la plus complète qui ait porté sur les effets des essences au plomb et sans plomb sur les automobiles construites avant 1970 est celle qui a été menée durant les années 1960 par la Ethyl Corporation. Cette étude avait pour but de comparer 64 paires de voitures identiques appartenant à des employés de la Corporation et conduites par ces derniers (6). Une voiture de chaque paire était alimentée à l'essence au plomb, l'autre, à l'essence sans plomb. Les voitures alimentées à l'essence sans plomb ont parcouru en moyenne 126 786 km (78 749 mi) sur une période de cinq ans. À cette époque, la vitesse maximale permise sur les autoroutes aux États-Unis variait entre 65 et 70 milles à l'heure.

En dépit des résultats en laboratoire qui démontrent que l'usure des sièges de soupape augmente à vitesse élevée, le remplacement de la culasse n'a été nécessaire que sur seulement quatre des véhicules alimentés à l'essence sans plomb et testés par la Ethyl Corporation. Une telle réparation a d'ailleurs dû être effectuée sur un véhicule utilisant de l'essence au plomb.

L'absence de plomb, par ailleurs, réduit le nombre de soupapes brûlées ou endommagées. Ainsi, seulement six véhicules alimentés à l'essence sans plomb ont nécessité des réparations au niveau des soupapes contre 16 dans le cas des véhicules alimentés à l'essence au plomb.

Un certain nombre d'études sur le terrain ont été menées subséquemment pour comparer, soit directement, soit indirectement, les effets de l'essence sans plomb sur la durabilité du moteur (17, 18). Toutes indiquent que bien que les sièges de soupape faits de fonte non trempée s'usent un peu plus rapidement, les problèmes ne sont, dans l'ensemble,

pas plus fréquents qu'avec l'essence au plomb du fait que la plupart des automobiles qui appartiennent à des particuliers sont conduites relativement peu longtemps à haute vitesse. De même, l'usure des sièges de soupape ne devrait pas être un problème sur les modèles de voitures de construction moins récente et de camions légers alimentés à l'essence sans plomb, à la condition toutefois de ne pas faire fonctionner longtemps le moteur à haute vitesse. À la fin de 1990, il ne restera plus qu'un nombre limité de voitures et de camions légers encore munis de sièges de soupape mous et la plupart de ces véhicules ne seront sans doute pas utilisés pour de longs trajets.

Il est possible, par ailleurs, que les véhicules anciens obtiennent de meilleurs résultats avec l'essence sans plomb, car celle-ci ne contient pas de "décrassants" qui accélèrent la corrosion du moteur et du système d'échappement. Il est, en outre, peu probable que ces véhicules soient utilisés dans des conditions qui provoquent un affaissement de soupape.

Toutes les voitures construites depuis 1972, ainsi que tous les camions légers construits depuis 1974, sont équipés de moteurs munis de sièges de soupape d'échappement trempés par induction ou encore de sièges de soupape rapportés, dans le cas des moteurs avec culasse en aluminium. Ces moteurs ont été conçus pour consommer de l'essence sans plomb; certains peuvent toutefois utiliser aussi l'essence au plomb, car ils ont été fabriqués de manière à respecter les normes d'émissions même sans catalyseur. Dans bien des cas, le modèle vendu au Canada était dépourvu de catalyseur, alors que le même modèle vendu aux États-Unis en avait un. Bien que les deux types de moteurs présentent de nombreuses différences externes, leur construction interne est identique. Par conséquent, toutes les voitures et tous les camions légers construits respectivement depuis 1972 et 1974 peuvent utiliser de l'essence sans plomb.

Aux termes de la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles*, un camion léger est défini comme un véhicule dont le poids nominal brut (PNBV) ne dépasse pas 2724 kg (6000 lb). Il s'agit du poids combiné du camion et des marchandises qu'il peut transporter, en fonction du type de châssis; ce chiffre apparaît habituellement sur le montant de la porte. En 1979, cette définition a été modifiée aux États-Unis pour y inclure les camions jusqu'à 3856 kg (8500 lb) PNBV. C'est donc dire que tous les camions légers doivent maintenant être conçus pour consommer de l'essence sans plomb de manière à ne pas endommager le catalyseur.

Le 1er septembre 1987, le PNBV des camions légers a également été porté à 3856 kg (8500 lb) au Canada. En raison des différences quant aux normes d'émissions, certains camions vendus au Canada peuvent être dépourvus de catalyseurs, alors qu'il est

obligatoire sur le modèle équivalent aux États-Unis. Tous sont toutefois identiques au niveau de leur construction interne et tous peuvent consommer de l'essence sans plomb.

6.4 Poids lourds

Les camions pesant entre 3856 et 6350 kg (8500 et 14 000 lb) sont classés parmi les poids lourds; ils sont toutefois équipés du même type de moteurs que les camions légers et ils réagissent de la même façon à l'essence sans plomb. Cependant, comme le rapport de l'essieu est en général plus élevé sur les camions plus lourds, le moteur doit tourner plus rapidement à une vitesse donnée. Sur les modèles plus vieux, l'usure des sièges de soupape commencera à se manifester même à vitesse réduite et les risques seront élevés à grande vitesse. Cependant, peu de camions construits avant 1974 seront encore sur la route en 1990 et parmi ceux qui le seront, très peu seront conduits à grande vitesse pendant de longues périodes. Il est d'ailleurs peu probable qu'un camion qui a duré 16 ans ait été soumis aux conditions qui provoquent un affaissement de soupape.

Les poids lourds munis de sièges de soupape trempés par induction présentent une certaine résistance à l'usure, même s'ils sont alimentés à l'essence sans plomb alors qu'ils avaient été conçus pour l'essence au plomb. Par ailleurs, bien qu'il y ait risque d'usure des sièges de soupape lorsque le moteur alimenté à l'essence sans plomb tourne à grande vitesse, un grand nombre de ces camions aura été retiré de la circulation d'ici la fin de 1990, ou alors ils seront équipés d'un moteur qui aura été reconditionné. En vertu des nouvelles normes américaines en matière d'émissions, la plupart des camions jusqu'à 6350 kg (14 000 lb) PNBV construits depuis 1987 doivent être munis d'un catalyseur. De plus, les fabricants ont amélioré les soupapes et les sièges de soupape afin que tous les moteurs de camions affichent une durabilité acceptable, même avec de l'essence sans plomb.

Dans le cadre d'un contrat financé par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) et le ministère de l'Agriculture de ce même pays (USDA), le NIPER a testé un certain nombre de moteurs couplés à un dynamomètre et alimentés à l'essence au plomb, à faible teneur en plomb et sans plomb, de même qu'avec de l'essence sans plomb à laquelle avaient été ajoutés des lubrifiants sans plomb (11). Les deux moteurs testés, soit le 6 cylindres GM de 292 po^3 (4,8 l) et le V-8 de 454 po^3 (7,4 l), sont représentatifs des modèles que l'on trouve sur les camions légers et dans bon nombre de machines industrielles.

Le moteur de 4,8 l a été testé à un cycle qui correspond à des charges lourde et moyenne à vitesses élevée, moyenne et réduite. Dans le cas du moteur de 7,4 l, les

essais visaient à simuler une conduite prolongée à grande vitesse, une condition courante pour les grosses roulottes automobiles (Annexe B).

Malgré la présence de sièges de soupape trempés par induction, on a constaté des signes d'affaissement sur les deux moteurs; cependant, ceux-ci fonctionnaient toujours à la fin du test. Il semble par ailleurs que l'usure des soupapes ait cessé. Ces moteurs semblent donc constituer des cas frontières: une légère augmentation de l'intensité de fonctionnement entraînerait rapidement la détérioration des sièges de soupape, alors qu'au contraire, on pourrait freiner complètement le processus d'affaissement en ne forçant pas le régime du moteur.

Le moteur de 7,4 l a également été testé avec un siège de soupape rapporté en acier, lequel est destiné à des conditions de service normales. Malgré une certaine usure des sièges de soupape, les sièges rapportés ont donné de meilleurs résultats que les sièges de soupape trempés. Il a semblé par ailleurs que l'affaissement avait cessé à la fin de l'essai.

Des essais ont aussi été effectués sur le moteur de 4,8 l doté de sièges de soupape non trempés. Dans ce dernier cas, l'usure des sièges de soupape a été à ce point rapide et prononcée que l'essai n'a pu être complété; ces derniers résultats montrent bien que les sièges de soupape en fonte ordinaire s'usent rapidement dans des conditions d'utilisation exigeantes.

L'armée américaine a elle aussi effectué des essais avec un dynamomètre (14). Un des moteurs testés, le Chrysler 75M 5,9 l (V-8, 361 po^3) muni de sièges de soupape d'échappement rapportés, est semblable à ceux disponibles dans les véhicules civils. Testé avec le papillon des gaz complètement ouvert, à 3200 tours-minute pendant 125 heures, le moteur n'a présenté que des signes négligeables d'usure. Ces essais démontrent donc que certains moteurs de grande puissance peuvent fonctionner à vitesse et à charge élevées avec de l'essence sans plomb, sans qu'il ait détérioration des soupapes d'échappement ou des sièges de soupape. L'armée a ensuite soumis un certain nombre de ses véhicules commerciaux de grande puissance à des tests avec de l'essence sans plomb. Très peu de cas d'affaissement des soupapes ont été observés et le nombre de soupapes défectueuses a été comparable à celui obtenu avec l'essence au plomb.

En 1985, une enquête portant sur 36 flottes de camions a été effectuée pour le compte de l'EPA dans le but de déterminer le degré d'utilisation de l'essence sans plomb dans les poids lourds conçus pour ne consommer que de l'essence au plomb (8). Les résultats ont indiqué que la très grande majorité de ces véhicules n'utilisaient que de l'essence sans plomb, certains depuis les années 1970. Parmi les raisons invoquées,

mentionnons le fait que certaines de ces flottes comptaient également un grand nombre de véhicules légers alimentés à l'essence sans plomb. Il n'était donc pas rentable d'installer des réservoirs pour stocker les deux types de carburants. Par ailleurs, comme les moteurs à essence étaient de plus en plus remplacés par des moteurs diesel, les réservoirs de stockage auparavant utilisés pour l'essence au plomb avaient été modifiés pour recevoir le carburant diesel.

Selon le rapport de l'enquête, "la plupart des responsables de flottes de véhicules ont indiqué qu'à l'exception de légères mises au point rendues nécessaires pour maintenir les performances des véhicules, très peu de problèmes ont été observés avec l'essence sans plomb. . . Ajoutons que seulement sept responsables ont signalé un accroissement des problèmes de moteur, dus principalement soit à un affaissement de soupape, soit à la surchauffe. Dans la plupart des cas, il s'agissait de problèmes de surchauffe reliés probablement à l'indice d'octane. En effet, les carburants à faible indice d'octane peuvent provoquer de forts cognements, lesquels à leur tour augmentent la charge thermique du moteur" (8). Dans les flottes plus importantes, l'utilisation d'essence sans plomb a entraîné des problèmes liés à un affaissement de soupape dans seulement 0,5 p. 100 des moteurs équipant les poids lourds.

Les problèmes associés à l'indice d'octane s'expliquent du fait que l'indice d'octane minimum de l'essence sans plomb (87) est inférieur à celui fixé pour l'essence au plomb (88). Il est à noter cependant que deux essences ayant le même indice d'octane ne donne pas nécessairement les mêmes résultats sur tous les véhicules (20).

Il est possible de prévenir les problèmes reliés à l'indice d'octane en s'assurant que le réglage du moteur est conforme aux normes, que le moteur est en bon état et que le système de refroidissement fonctionne normalement. En outre, les utilisateurs des véhicules devraient être capables de déceler les cognements du moteur afin que les correctifs nécessaires puissent être apportés avant qu'il y ait détérioration. Si les problèmes persistent, une essence à indice d'octane plus élevé serait préférable.

6.5 Équipement agricole

Dans le cadre d'un programme conjoint de l'EPA et du USDA, le NIPER a testé les essences au plomb, sans plomb et à faible teneur en plomb sur quatre moteurs de tracteurs agricoles, un moteur de moissonneuse-batteuse, deux moteurs de camions et un moteur de roulotte automobile (11). Les moteurs testés ont été choisis en fonction du nombre en service dans chaque catégorie, plutôt qu'en fonction du nombre d'heures d'utilisation ou de leur valeur économique. Tous les moteurs de tracteurs étaient dotés d'une culasse en fonte dépourvue de sièges de soupape trempés ou munie de sièges de

soupape rapportés mous. Certains moteurs alimentés à l'essence sans plomb ont présenté des signes d'usure des sièges de soupape durant l'essai (Annexe B).

Deux moteurs de tracteurs qui atteignent leur puissance nominale à moins de 1700 tours-minute n'ont pas souffert d'usure anormale des sièges de soupape; c'est dire que dans le cas des tracteurs fonctionnant à basse vitesse, le problème d'affaissement de soupape ne devrait pas être fréquent.

Par ailleurs, une analyse préliminaire des données recueillies dans le cadre d'une étude menée aux États-Unis en 1986 sur la culasse des tracteurs agricoles révèle qu'environ 30 p. 100 de ces moteurs étaient munis de sièges de soupape rapportés durcis. Ce type de moteur serait à l'abri d'usure des sièges de soupape, même avec de l'essence sans plomb (19).

Un grand nombre de moissonneuses-batteuses sont actionnées par des versions industrielles de moteur d'automobile et elles fonctionnent habituellement à charge et à vitesse élevées. Les résultats des tests effectués par le NIPER indiquent une usure des sièges de soupape sur les moteurs GM 292 po^3 (4,8 l) et 454 po^3 (7,4 l) utilisant de l'essence sans plomb, ce qui a de graves répercussions pour les moissonneuses-batteuses. Les andaineuses et les faucheuses conditionneuses à essence sont elles aussi souvent dotées de versions industrielles de moteur d'automobile; cependant, comme ces machines ne sont pas soumises à des charges aussi élevées que les moissonneuses-batteuses, le problème d'usure des sièges de soupape ne devrait pas être aussi aigu.

Les machines agricoles et industrielles sont souvent munies du moteur à essence Wisconsin de grande puissance et refroidi par l'air. Le fabricant de ce moteur ne s'attend pas à ce que les modèles plus récents présentent des problèmes d'affaissement de soupape; il s'agit des modèles dont le numéro s'apparente à W4-70 ou se termine par un "D". Par ailleurs, la plupart des moteurs plus vieux sont munis de sièges de soupape rapportés et, advenant une usure prématurée, ils pourraient être modifiés au moyen de soupapes et de sièges de soupape rapportés plus récents et conçus pour l'essence sans plomb. Il ne semble pas toutefois que ce problème soit fréquent même sur les modèles plus vieux.

Dans le manuel de l'utilisateur, Teledyne recommande d'enlever la culasse toutes les 200 à 250 heures d'utilisation et de nettoyer les dépôts qui s'y sont accumulés (26). Le changement des soupapes et des sièges de soupape durant l'entretien normal permettra en outre de réduire le coût des modifications et le temps nécessaire pour les effectuer.

6.6 Bateaux

Dépourvus de soupapes d'échappement, les moteurs hors-bord peuvent pour la plupart utiliser de l'essence sans plomb sans risque de détérioration. Cependant, dans le cas de certains moteurs fabriqués par OMC entre 1970 et 1985 inclusivement, il pourrait s'avérer nécessaire de modifier le réglage ou d'installer un jeu de transformation. Les propriétaires désireux d'obtenir plus de renseignements à ce sujet doivent consulter leur concessionnaire.

À l'exception du Mercruiser à quatre cylindres, les moteurs intérieurs ou semi-hors-bord constituent en fait des modèles marins du moteur d'automobile. Ces moteurs sont munis de sièges de soupape trempés depuis au moins 1974 (1975 dans le cas du Mercruiser à quatre cylindres). Il est difficile de prévoir la durabilité des moteurs plus récents, car cela dépend dans une grande mesure des conditions d'utilisation. Ainsi, il faut s'attendre à ce que certains moteurs munis de sièges de soupape trempés par induction présentent des signes d'usure prématurée si le moteur fonctionne pendant longtemps à charge et à régime élevés, deux conditions propres aux vitesses de croisière normales des bateaux de plaisance. Par ailleurs, le processus d'usure sera encore plus rapide sur les moteurs plus vieux dépourvus de sièges de soupape trempés.

Comme les moteurs des bateaux de pêche tournent rapidement sous une forte charge, l'usure des sièges de soupape pourrait là aussi constituer un problème, même avec des sièges de soupape durcis par induction. Ces moteurs devront donc faire l'objet de vérifications assez fréquentes et l'on pourrait en profiter pour installer des sièges de soupape rapportés pour permettre l'utilisation d'essence sans plomb.

Un grand nombre de propriétaires de petits bateaux de pêche remplacent les moteurs à essence usés par des moteurs de voitures ou de camions légers usagés, lesquels pouvaient, jusqu'à récemment, fonctionner à l'essence au plomb même si le véhicule d'origine consommait de l'essence sans plomb. À noter cependant que cela est impossible avec les nouveaux moteurs de faible puissance dotés d'un système d'injection informatique et donc d'une sonde à oxygène qui nécessite l'utilisation d'essence sans plomb. Les vieux moteurs qui sont reconditionnés peuvent être adaptés pour l'essence sans plomb. Il suffit d'ajouter des sièges de soupape rapportés de qualité supérieure. Les moteurs de rechange affichent habituellement une durabilité acceptable avec de l'essence sans plomb.

6.7 Motocyclettes

Environnement Canada a contacté plusieurs associations (voir Annexe D) pour connaître leur opinion sur l'élimination de l'essence au plomb. L'Association motocycliste canadienne a répondu en ces termes:

"Selon l'enquête que nous avons menée, toutes les motocyclettes fabriquées depuis 1978 peuvent utiliser de l'essence sans plomb. Les motocyclistes ne devraient donc pas être incommodés par l'adoption d'un règlement en ce sens".

Toutes les motocyclettes munies de moteurs à deux temps sont dépourvues de soupapes d'échappement; il n'y a donc pas de problèmes à utiliser de l'essence sans plomb. Les utilisateurs de ces véhicules n'ont qu'à s'assurer que le carburant utilisé a l'indice d'octane recommandé par le fabricant. Cette exigence s'applique également à d'autres véhicules mus par des moteurs à deux temps, par exemple les motoneiges.

6.8 Voitures et bateaux anciens

Il est peu probable que les conditions d'opération des voitures ou des bateaux anciens provoquent l'usure des sièges de soupape. La section 6.10 présente diverses solutions pour remédier aux problèmes éventuels.

6.9 Équipement horticole

Les membres de la Canadian Outdoor Power Equipment Association ont eux aussi commenté l'élimination graduelle de l'essence au plomb. La Tecumseh Products Company a formulé le commentaire suivant:

"Les moteurs de la compagnie Tecumseh ne seront touchés d'aucune façon par l'utilisation de carburant sans plomb. Nous recommandons même d'utiliser une essence sans plomb ordinaire, qui soit fraîche et propre, l'essence au plomb ordinaire constituant néanmoins un substitut acceptable. Cette recommandation vaut pour les moteurs à deux et à quatre temps, qu'ils soient récents ou plus vieux".

Briggs & Stratton ont eux aussi fait savoir que leurs moteurs fonctionnaient très bien avec de l'essence sans plomb. De même, la Outboard Marine, qui est située à Peterborough (Ontario) et qui fabrique des moteurs de tondeuses, a indiqué que l'élimination du plomb de l'essence n'aurait aucun effet néfaste sur ses moteurs.

De 1972 à 1975, quatre bases militaires américaines ont fait l'essai de l'essence sans plomb (7). Une grande variété de petits appareils, dont des tondeuses et des scies à chaîne, ont été testés et aucun problème inhabituel n'a été décelé.

Si l'on se fie à ces essais et aux renseignements fournis par les fabricants, l'élimination de l'essence au plomb ne devrait donc pas avoir d'effets néfastes sur les machines dotées de petits moteurs à essence, comme l'équipement horticole.

6.10 Discussion - Comment faire face à l'élimination de l'essence au plomb?

Dans les sections précédentes, nous avons fait état des moteurs susceptibles de présenter des signes d'usure accélérée des soupapes d'échappement et des sièges de soupape avec l'utilisation d'essence sans plomb. Dans la présente section, nous discutons de moyens pour réduire ces effets sur les moteurs conçus pour l'essence au plomb.

À cette fin, un certain nombre de mesures peuvent être prises:

1) Réduire la vitesse du moteur et éviter de le soumettre à des conditions qui favorisent l'usure des sièges de soupape. Pour bon nombre d'utilisateurs, cette solution n'est toutefois pas pratique.
2) Mélanger à l'essence sans plomb des additifs lubrifiants pour soupape (vendus chez les fournisseurs de pièces automobiles). Ces additifs sont actuellement distribués aux États-Unis et on devrait pouvoir s'en procurer sans problème au Canada d'ici 1990.
3) Reconditionner les moteurs à essence en utilisant des soupapes et des sièges de soupape rapportés de haute qualité. Il serait alors possible d'utiliser de l'essence sans plomb sans risque d'usure prématurée des sièges de soupape.
4) Doter l'appareil en question d'un nouveau moteur conçu pour résister aux conditions d'utilisation prévues avec de l'essence sans plomb. L'installation d'un moteur diesel serait une autre solution possible.
5) Lorsque le moteur cesse de fonctionner, se débarrasser du véhicule ou de la machine.

Évidemment, la première solution ne convient pas pour tous les véhicules ou toutes les machines; dans bien des cas, toutefois, on ne s'en servira que pour suppléer à d'autres véhicules plus récents. C'est là une situation qui se produit fréquemment dans les exploitations agricoles où le tracteur à essence n'est utilisé que durant les périodes de pointe pour suppléer au(x) tracteur(s) diesel plus récent(s). De même, les machines plus vieilles faisant partie d'une flotte peuvent être utilisées pour les travaux effectués à vitesse réduite en zone urbaine.

L'utilisation d'additifs constitue une mesure provisoire qui permet de prolonger la durée de l'équipement jusqu'à ce que celui-ci soit remplacé ou modifié de façon à pouvoir utiliser de l'essence sans plomb ou du carburant diesel. Croudace et Wusz ont démontré que les additifs sans plomb pouvaient réduire l'usure des sièges de soupape tout aussi efficacement qu'une essence à faible teneur en plomb (26 mg/l). Il y a lieu toutefois de poursuivre les travaux pour déterminer le bon dosage et s'assurer que ces additifs ne causeront pas de problèmes de durabilité à long terme (13).

Le reconditionnement des moteurs à essence est une solution qui ne vaut habituellement que pour les véhicules ou les machines qui useront au moins un moteur pendant leur vie utile. L'installation de sièges de soupape rapportés coûte entre 600 et 1000 dollars. Cependant, si la modification est faite lors de la révision du moteur, il n'en coûte alors qu'entre 150 et 200 dollars de plus pour installer des sièges de soupape rapportés et des soupapes de haute qualité.

On peut également envisager l'installation d'un nouveau moteur. Dans ce cas on choisira le plus souvent un moteur diesel pour réduire les frais de fonctionnement. Le reconditionnement du moteur à essence ou son remplacement par un moteur diesel s'avèrent deux des meilleures solutions pour les machines ou les véhicules soumis à un usage intensif.

Certaines machines susceptibles de présenter des problèmes d'affaissement de soupape devront de toute façon être remplacées sous peu. Pour certains utilisateurs, l'utilisation d'essence sans plomb jusqu'à ce que le moteur tombe en panne s'avèrera la solution la moins coûteuse.

7 NOMBRE DE VÉHICULES SUSCEPTIBLES DE PRÉSENTER DES SIGNES D'USURE DES SIÈGES DE SOUPAPE EN 1990

Ce chapitre présente des données quantitatives sur chaque type de moteurs susceptibles de présenter des signes d'usure des sièges de soupape après l'utilisation d'essence sans plomb. Le nombre total de véhicules au Canada est également indiqué.

7.1 Véhicules routiers

Le tableau 1 présente le nombre estimatif de véhicules qui seront encore sur la route au Canada en 1990 et la proportion qui pourrait être touchée par l'usure des sièges de soupape en raison de l'élimination de l'essence au plomb. Ces estimations ont été établies à partir des données sur l'immatriculation des véhicules, en tenant compte de la croissance démographique. La proportion relative de véhicules dans chaque catégorie a été calculée sur la base des données sur la répartition de la population aux États-Unis, obtenues dans le cadre de MOBILE 3, un programme de modélisation des émissions mis sur pied par l'EPA. Selon les estimations établies à partir des données sur l'immatriculation des véhicules au Canada, le nombre de vieux modèles de voitures et de camions est élevé; il y a donc surestimation. Comme l'indiquent les sections 6.0 à 6.4, l'usure rapide des sièges de soupape touchera peu de véhicules à risques après le retrait de l'essence au plomb.

7.2 Équipement agricole

7.2.1 Tracteurs. - Les tracteurs et les moissonneuses-batteuses sont les seules machines agricoles que l'on considère à risques. Le tableau 2 présente la composition du parc de tracteurs estimée pour 1990. Les méthodes utilisées pour les calculs sont définies à l'Annexe C.

Selon une enquête menée conjointement par l'EPA et le USDA en 1986, environ 40 p. 100 de tous les tracteurs agricoles étaient alimentés à l'essence (19). La plupart de ceux-ci sont de faible puissance et ils ne sont que peu utilisés et rarement pour de gros travaux. En fait, environ 42 p. 100 étaient utilisés exclusivement pour des travaux légers. Le tracteur à essence d'utilisation courante était en usage depuis 26 ans et a fonctionné en moyenne 250 heures par année. Il est donc peu probable que ces tracteurs présentent des signes d'usure au niveau des soupapes.

Selon une autre enquête menée en 1986, cette fois-ci sur la culasse des tracteurs, 33 p. 100 étaient munis de sièges de soupape trempés. Un certain nombre de tracteurs dotés de sièges de soupape en fonte ne fonctionnent qu'à faible régime; les risques d'usure des sièges de soupape sont donc faibles.

TABLEAU 1 NOMBRE DE VÉHICULES ROUTIERS EXPOSÉS À DES RISQUES D'USURE DES SOUPAPES SOUS DES CONDITIONS D'UTILISATION RIGOUREUSES, APRÈS LE RETRAIT DE L'ESSENCE AU PLOMB EN 1990, SELON LA CATÉGORIE DE RISQUES

Type	Faibles risques[a]	Risques moyens[b]	Risques élevés[c]	Total
Voitures	12 793 000 (modèles 1972 et ultérieurs)	-	97 000 (modèle 1972)	12 890 000
CLE1	1 556 000 (modèles 1974 et ultérieurs)	-	64 800 (modèle 1974)	1 621 000
CLE2	948 000 (modèles 1979 et ultérieurs)	161 800 (modèles 1974 à 1978)	46 200 (modèle 1974)	1 156 000
CLOE	128 000 (modèles 1988 et ultérieurs)	238 500 (modèles 1974 à 1987)	20 500 (modèle 1974)	387 000
CLOD	-	-	-	282 000

CLE1 - Camions légers jusqu'à 2722 kg (6000 lb) PNBV.

CLE2 - Camions légers entre 2722 et 3856 kg (6000 à 8500 lb) PNBV.

CLOE - Camions lourds à moteurs à essence de plus de 3856 kg (8500 lb) PNBV.

CLOD - Camions lourds à diesel de plus de 3856 kg (8500 lb) PNBV.

[a]Véhicules conçus pour consommer de l'essence sans plomb.

[b]À haute vitesse ou à charge très élevée, les sièges de soupape sur les véhicules de cette catégorie peuvent durer moins longtemps. Tous ces véhicules sont dotés de sièges de soupape trempés par induction ou de sièges de soupape rapportés.

[c]À vitesse et à charge élevées, il y aura détérioration rapide des sièges de soupape sur les voitures et les camions légers de cette catégorie. La plupart des camions lourds de cette catégorie sont munis de sièges de soupape rapportés qui offrent une certaine protection contre l'usure. Les risques d'usure sont donc surestimés.

On s'attendait à ce qu'il y ait peu de différence entre le parc de tracteurs du Canada et celui des États-Unis. Une enquête similaire, quoique de plus faible portée, a toutefois été effectuée au Canada pour vérifier les données recueillies aux États-Unis. En 1986, Statistique Canada a mené une enquête téléphonique auprès de 500 exploitants agricoles du Nouveau-Brunswick. Cette province a été choisie parce que c'était là que les dépenses en carburant par machine étaient les plus élevées, selon l'enquête de 1981 sur l'utilisation de l'énergie dans les exploitations agricoles (21).

TABLEAU 2 ESTIMATIONS DU NOMBRE DE TRACTEURS DIESEL ET À ESSENCE QUI SERONT EN SERVICE EN 1990

Puissance	Nombre de tracteurs	% des tracteurs à essence*		
		Estimation élevée	Estimation moyenne	Estimation basse
20 à 49 H.P.	194 864	31	27	22
50 à 99 H.P.	276 476	17	14	0
20 à 99 H.P.	471 340	23	20	13
100+ H.P.	192 002	Tous au carburant diesel		
Total des tracteurs	682 044	18	16	7

* Calculé selon le scénario adopté pour estimer le nombre de tracteurs qui seront mis hors-service d'ici 1990 (voir Annexe C).

Bien que le nombre d'années d'utilisation des tracteurs ait été similaire dans les deux pays, on note que la proportion de tracteurs exécutant exclusivement des travaux légers était plus élevée au Canada qu'aux États-Unis (48 p. 100 au Canada contre 42 p. 100 aux États-Unis). Cette différence est probablement due au nombre proportionnellement plus faible de tracteurs à essence au Canada, qui ne représentent qu'environ 29 p. 100 du parc des tracteurs agricoles, comparativement à 40 p. 100 aux États- Unis. Un grand nombre de tracteurs à essence ont une puissance inférieure à 20 H.P. (14,9 kW). On prévoit que lorsque l'interdiction de vendre de l'essence au plomb entrera en vigueur en décembre 1990, le pourcentage de tracteurs d'une puissance de 20 à 99 H.P. (14,9 à 73,9 kW) fonctionnant à l'essence atteindra entre 13 et 29 p. 100. Les tracteurs au-dessus de 99 H.P. fonctionnent généralement au diesel (Annexe C - parc de tracteurs).

L'étude révèle également que 40 p. 100 du temps, les tracteurs ont été utilisés pour des travaux d'intensité moyenne à forte. Comme la vie utile d'un tracteur dépend de sa fréquence d'emploi et de la nature des travaux à effectuer, on estime que 40 p. 100 des tracteurs à essence seront exposés à des risques d'usure des sièges de soupape. En conclusion, au plus 10 p. 100 de tous les tracteurs dureront moins longtemps advenant l'élimination de l'essence au plomb. En 1990, le tracteur à essence d'usage courant sera en service depuis 30 ans.

7.2.2 **Moissonneuses-batteuses.** - En fait, seules des moissonneuses-batteuses diesel ont été construites depuis 1980 et peu de moissonneuses-batteuses à essence ont été vendues durant les années 1970. La proportion de moissonneuses-batteuses à essence par rapport à celles alimentées au diesel est néanmoins plus élevée que dans le cas des tracteurs; on estime qu'en 1986, 52 à 60 p. 100 des moissonneuses-batteuses autopropulsées étaient dotées de moteurs à essence. Selon les estimations, cette proportion variera entre 37 et 53 p. 100 en 1990. Nous n'avons pas tenu compte des moissonneuses-batteuses tractées (tableau 3 et Annexe C).

Les vieilles moissonneuses-batteuses étant généralement plus petites et utilisées moins intensément que les modèles plus récents, la proportion du nombre total d'hectares récoltés par les moissonneuses à essence n'est pas en rapport direct avec leur nombre. Selon les résultats de l'étude menée conjointement par l'EPA et le USDA, les moissonneuses-batteuses autopropulsées à essence ont récolté en moyenne 89 ha (220 acres) en 1986 (19). Les chiffres compilés pour le Canada et pour la même année sont plus élevés. La récolte moyenne par moissonneuse (y compris les modèles tractés) s'élevait à 167 ha (412 acres). Ce chiffre a été établi à partir des données de Statistique Canada (qui indiquent le nombre total d'hectares récoltés pour les diverses cultures), ainsi que des données du recensement de 1986 qui font état du nombre total de moissonneuses-batteuses dans notre pays (23).

TABLEAU 3 ESTIMATIONS DU NOMBRE DE MOISSONNEUSES-BATTEUSES À DIESEL ET À ESSENCE EN 1990

Type	Nombre	% des moissonneuses-batteuses à essence*		
		Estimation élevée	Estimation moyenne	Estimation basse
Moissonneuses-batteuses autopropulsées	109 320	53	49	37
Moissonneuses-batteuses tractées	44 500			

* Calculé selon le scénario adopté pour estimer le nombre de moissonneuses-batteuses qui seront mises hors-service d'ici 1990 (voir Annexe C).

Les moissonneuses-batteuses à essence sont faites pour durer moins longtemps que les tracteurs. Elles ont une vie utile nominale de 2000 à 3000 heures. Les moteurs qui les équipent sont différents. En effet, il s'agit souvent de modèles industriels de moteurs d'automobiles plutôt que de moteurs agricoles spéciaux. Par ailleurs, contrairement aux vieux tracteurs qui ne sont souvent utilisés que pour des travaux légers, les moteurs des moissonneuses-batteuses fonctionnent toujours à vitesse et à charge élevées.

Selon le rapport de l'EPA et du USDA, la durée moyenne de service des moissonneuses-batteuses à essence en usage était de 19 ans (19). Bien que nous ne possédons pas de données précises, on croit, sur la base des renseignements sur les tracteurs, que l'âge moyen des moissonneuses-batteuses à essence au Canada est similaire, voire même plus élevé.

7.3 Bateaux

7.3.1 Bateaux de plaisance. - En 1985, on comptait environ 2,3 millions de bateaux de plaisance au Canada, soit environ un million (45 p. 100) mus par des moteurs hors-bord, 92 000 (4 p. 100) par des moteurs semi-hors-bord et 20 000 (1 p. 100) par des moteurs intérieurs (22). Comme on ne possède aucune donnée sur la répartition de ces bateaux en fonction de leur nombre d'années d'utilisation, on présume que tous les moteurs intérieurs et semi-hors-bord présentent des risques.

7.3.2 Bateaux de pêche. - Au Canada, on compte près de 40 800 bateaux de pêche. Tous les gros bateaux de pêche sont dotés de moteurs diesel alors que les petits bateaux sont équipés de moteurs hors-bord qui peuvent consommer de l'essence sans plomb. Les bateaux de taille moyenne sont dotés soit de moteurs diesel, soit de moteurs à essence. Selon les estimations, 6800 (17 p. 100) bateaux de pêche sont pourvus de moteurs à essence à quatre temps (27).

8 CONCLUSIONS

Peu à peu, la réduction de la demande pour l'essence au plomb amènera certains fabricants à cesser la production de ce carburant. Cette tendance est déjà amorcée aux États-Unis. À mesure que l'offre d'essence au plomb diminuera, les utilisateurs de véhicules et de machines dont les sièges de soupape risquent d'être endommagés devront trouver des moyens de faire face à ce problème.

Au Canada, l'interdiction de vendre de l'essence au plomb au détail à compter du 1er décembre 1990 aura peu d'effets sur la durabilité des moteurs à essence, et ce pour les raisons suivantes:

1) Dans chaque type particulier d'équipement, seulement un faible pourcentage des moteurs doivent utiliser de l'essence au plomb pour prévenir l'usure des sièges de soupape;
2) Peu de moteurs à risques sont exposés à des conditions d'utilisation assez exigeantes pour provoquer l'usure des sièges de soupape;
3) D'autres additifs que le plomb peuvent être utilisés pour lubrifier les sièges de soupape. De plus, les moteurs peuvent être modifiés à un coût raisonnable pour pouvoir utiliser de l'essence sans plomb;
4) Une essence à faible teneur en plomb (26 mg/l) pourra être utilisée pour les machines agricoles, les moteurs de bateaux et les camions de plus de 3856 kg (8500 lb) PNBV; la plupart des moteurs à risques appartiennent à ces catégories.

RÉFÉRENCES

1. *Bulletin trimestriel - Disponibilité et écoulement d'énergie au Canada.* Statistique Canada, nº de catalogue 57-003.
2. *Gazette du Canada*, Partie II, 31 octobre 1973.
3. *Gazette du Canada*, Partie II, 31 juillet 1974.
4. *Gazette du Canada*, Partie II, 4 mai 1984.
5. *Gazette du Canada*, Partie I, 21 juin 1986.
6. Withringham, J.S. et coll., *Car Maintenance Expense in Owner Service with Leaded and Nonleaded Gasolines*, The Engineering Society for Advancing Mobility; Land, Sea, Air and Space, Publication nº 710584 de la Society of Automotive Engineers, 1971.
7. Tosh, J.D., *Performance of Army Engines with Unleaded Gasoline. Field Study Evaluation.* Rapport AFLRL No. 82 (aucune date).
8. Nelowet, L. et C. Weaver, *Unleaded Gasoline Use in Truck Fleets*, mémoire présenté à Hugh Pitcher, United States Environmental Protection Agency, mai 1985.
9. Godfrey, D. et R. Courtney, *Investigation of Mechanism of Exhaust Valve Seat Wear in Engines Run on Unleaded Gasoline*, Publication nº 710368 de la Society of Automotive Engineers, 1971.
10. Giles, W., *Valve Problems with Lead Free Gasoline*, Publication nº 710368 de la Society of Automotive Engineers, 1971.
11. Allsup, J.R., *Effect of Low Levels of Lead and Alternative Additives to Lead on Engines Designed to Operate on Leaded Gasoline.* National Institute for Petroleum Energy Research, Rapport nº B06725-2, mars 1987.
12. Schoonvelt, G. et coll., *Exhaust Valve Recession with Low Lead Gasoline*, Publication nº 861550 de la Society of Automotive Engineers, 1986.
13. Croudace, M. et T. Wusz, *The Effect of Low Lead Gasoline and Some Aftermarket Lead Substitutes on Exhaust Valve Seat Wear*, Publication nº 872076 de la Society of Automotive Engineers, 1987.
14. Russel, J.A., J.D. Tosh et coll., *Performance of Army Engines with Leaded Gasoline, Phase 1, Laboratory Testing*, Rapport nº AD766337, janvier 1973.
15. Motta, R.C., J.E. Elliot et T.R. Willsie, *The Design and Production of Chrysler Canada's 1987 Propane-fuelled Vehicles*, Gaseous Fuels for Transportation 1, Proceedings (aucune date).
16. Giles, W.S. et S.H. Updike, *Influence of Low Lead Fuels on Exhaust Valve Performance*, Publication nº 710674 de la Society of Automotive Engineers, 1971.
17. Kent, K. et F. Finnigan, *The Effect of Some Fuel and Operating Parameters on Exhaust Valve Seat Wear*, Publication nº 710673 de la Society of Automotive Engineers, 1971.
18. Gray, D.S. et A.G. Azhari, *Saving Dollars with Low Lead Fuel*, Publication nº 720084 de la Society of Automotive Engineers, 1972.

19. United States Environmental Protection Agency - United States Department of Agriculture, *Effects of Using Unleaded and Low Lead Gasoline and Non-lead Additives on Agricultural Engines Designed for Leaded Gasoline*, Rapport conjoint (avril 1987).

20. Pahnke, A. et W. Bettoney, *Role of Lead Antiknocks in Modern Gasoline*, Publication nº 710842 de la Society of Automotive Engineers, 1971.

21. Statistique Canada, *Utilisation de l'énergie dans les exploitations agricoles*, nº de catalogue 21-519, ISBN 0-660-52202-0, 1981.

22. Association pour la navigation de plaisance au Canada, *Canadian Boating, 1986: A Few Facts on Canada's Most Popular Recreation*. 1986.

23. Statistique Canada, *Série de rapports sur les grandes cultures*, nº de catalogue 22-002 (aucune date).

24. Weaver, C., *The Effects of Low-Lead and Unleaded Fuels on Gasoline Engines*, Publication nº 860090 de la Society of Automotive Engineers, 1986.

25. Garback, J. et G. Grinnel, *Effects of Using Unleaded and Low Lead Gasoline and Gasoline Containing Non-lead Additives on Agricultural Engines Designed for Leaded Gasoline*, Publication nº 871622 de la Society of Automotive Engineers, 1987.

26. Bastedo, Marilynn, Directrice générale, Association motocycliste canadienne, communiqué personnel adressé à Glen Allard, Directeur, Direction des produits chimiques commerciaux, Environnement Canada, 15 janvier 1987.

27. Pêches et Océans Canada, *Les pêches canadiennes - Revue statistique annuelle*, 1984.

ANNEXE A

Utilisation de divers types de sièges de soupape sur les camions

Chrysler

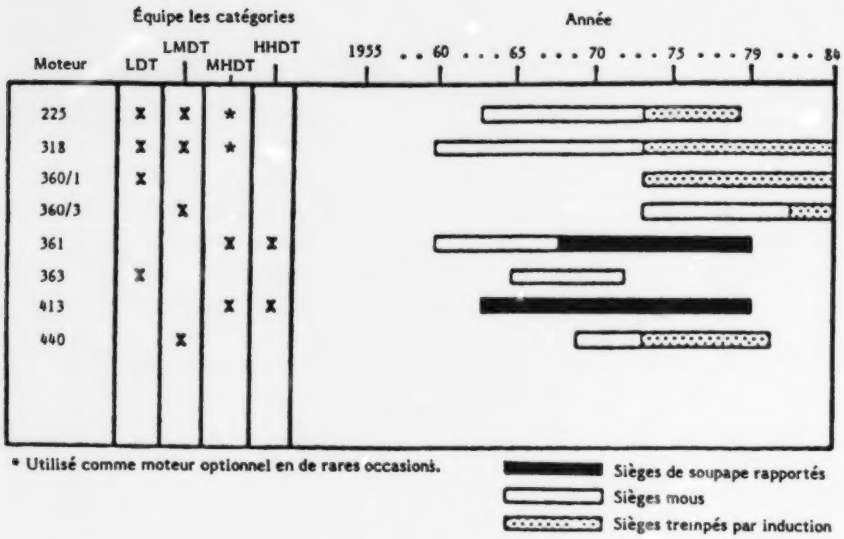


Figure A1

Utilisation de sièges de soupape rapportés et de sièges trempés par induction dans les moteurs de camions Chrysler

Ford

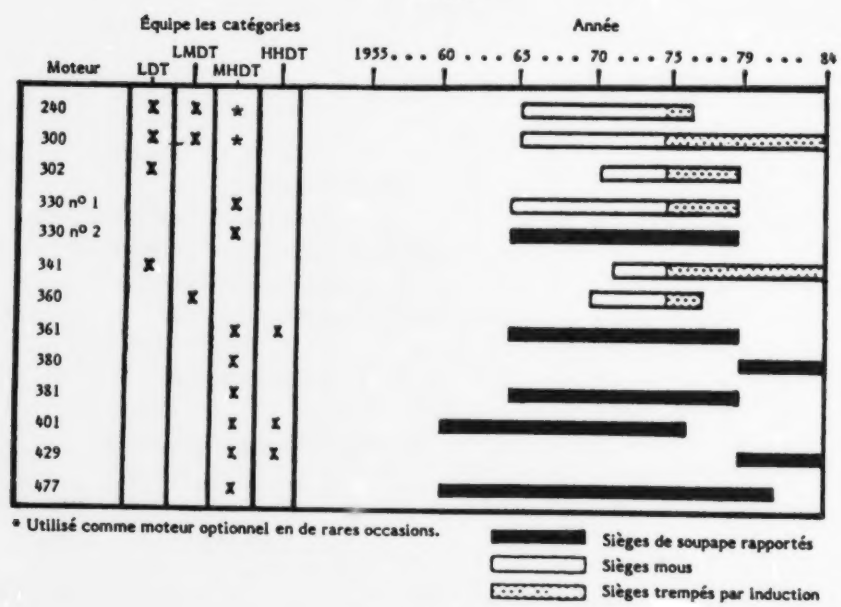


Figure A2

Utilisation de sièges de soupape rapportés et de sièges trempés par induction dans les moteurs de camions Ford

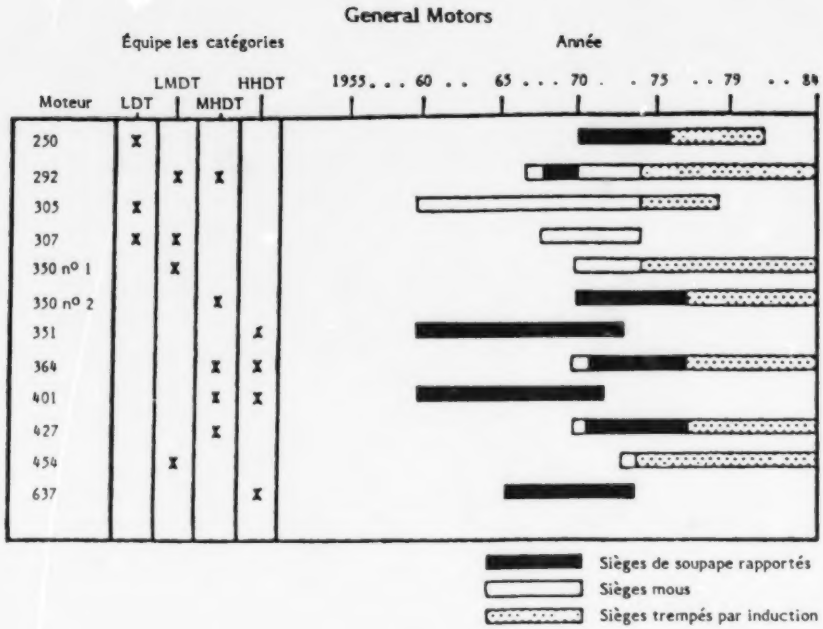


Figure A3

Utilisation de sièges de soupape rapportés et de sièges trempés par induction dans les moteurs de camions General Motors

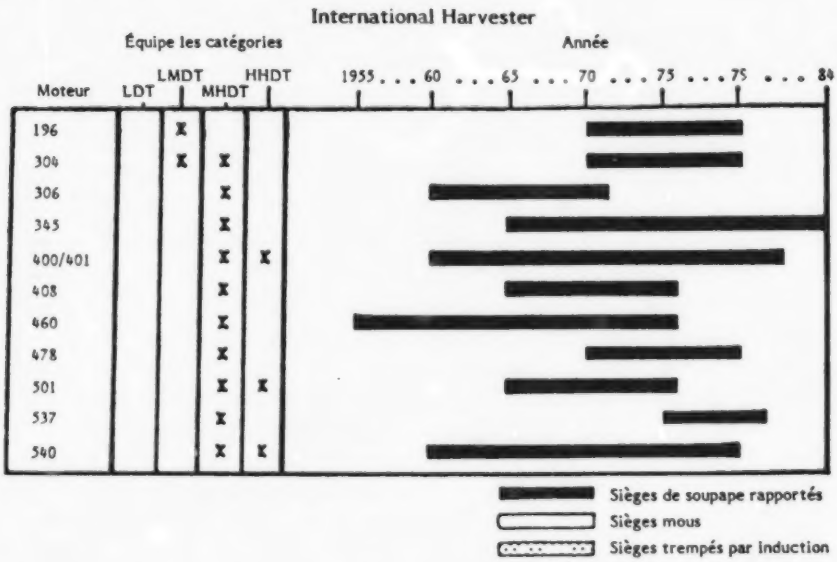


Figure A4

Utilisation de sièges de soupape rapportés et de sièges trempés par induction dans les moteurs de camions International Harvester

---

Remarque. - Figures tirées de la référence 24.

ANNEXE B

Moteurs testés et conditions dans lesquelles les essais se sont déroulés

TABLEAU B1 CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS TESTÉS

Marque/ modèle de moteur	Cylindrée	Nombre de cylindres	H.P.	Tours-minute	TC[a]	Rota-teurs de soupape
Tracteur John Deere B	190,4	2	24	1250	4,7:1	Non
Tracteur Farmall H	152	4	24	1650	5,9:1	Non
Tracteur Ford 8N	120	4	23	2000	6,7:1	Oui[c]
Tracteur IH 240	123	4	27	2000	6,8:1	Oui
Moissonneuse-batteuse John Deere 303	303	6	80	2500	7,6:1	Oui
Camion GM 292[b]	292	6	120	4000	8,0:1	Oui[c]
Roulotte automobile GM 454	454	V-8	210	4000	9,1:1	Oui[c]

[a] Taux de compression.

[b] Deux moteurs GM 292 ont été testés, désignés A et B.

[c] Soupapes d'échappement seulement.

Remarque. - Les tableaux et figures sont tirés de la référence 25.

TABLEAU B2 RÉSUMÉ DES VITESSES ET DES CHARGES UTILISÉES LORS DES ESSAIS

Vitesse et charge	Mode 1	2	3	4	5	6	56 heures
			John Deere B				
Tours-minute	1260	1370	1300	1250	1300	1275	1275
couple, pi/lb	86	0	43	max.	21	64	76
			Ford 8N				
Tours-minute	2050	2200	2100	2000	2150	2100	2100
couple, pi/lb	56	0	28	max.	14	42	50
			IH 240				
Tours-minute	2050	2200	2100	2000	2150	2100	2100
couple, pi/lb	73	0	37	max.	18	54	64
			Farmall H				
Tours-minute	1700	1800	1750	1650	1750	1725	1725
couple, pi/lb	85	0	43	max.	21	64	75
			John Deere 303				
Tours-minute	2600	2750	2700	2500	2700	2650	2650
couple, pi/lb	143	0	71	max.	36	107	126
			GM 292				
Tours-minute	3000	3000	2500	2000	3600	s.o.	s.o.
couple, pi/lb	168	89	92	53	149	s.o.	s.o.
			GM 454				
Tours-minute	3000	2000	3600	2500	3000	2500	3000
couple, pi/lb	285	145	258	149	151	282	175

s.o.: sans objet.

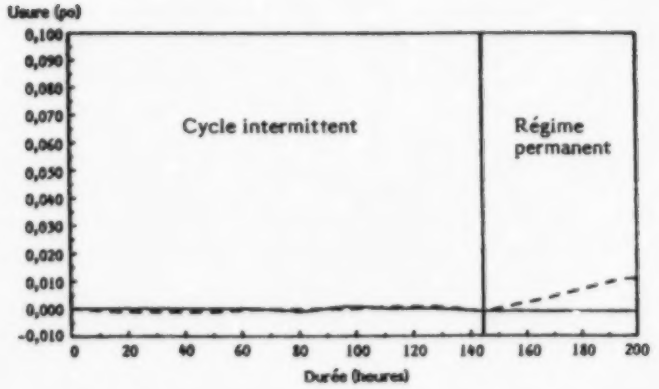


Figure B1

Usure des sièges de soupapes d'échappement John Deere B, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb, 1er essai

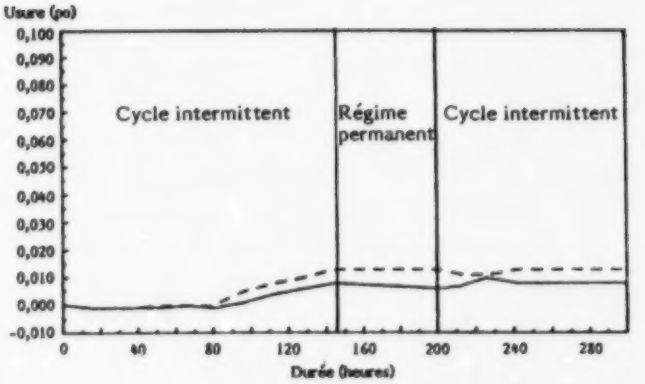


Figure B2

Usure des sièges de soupapes d'échappement John Deere B, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb, 2e essai

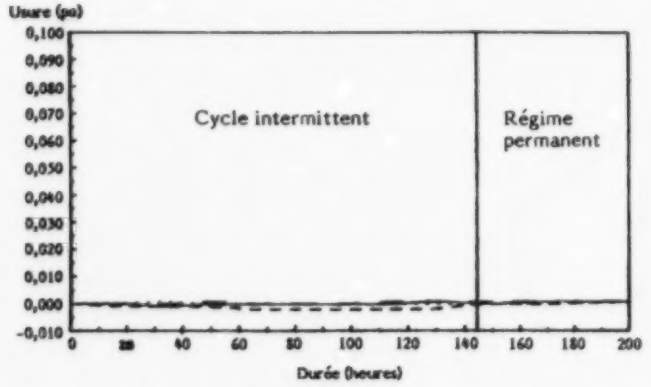


Figure B3

Usure des sièges de soupapes d'échappement Farmall H, sièges de soupape rapportés en fonte, essence sans plomb

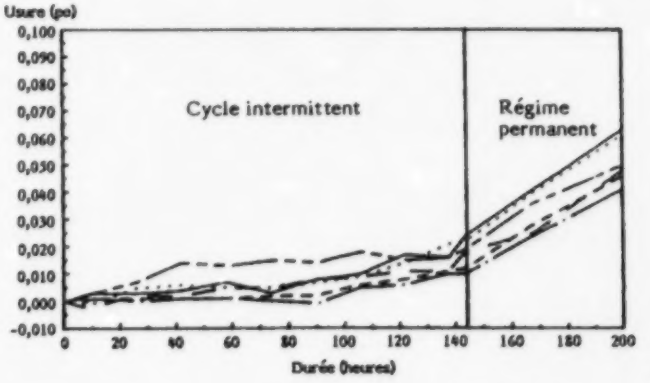


Figure B4

Usure des sièges de soupapes d'échappement John Deere 303 de cylindrée, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb

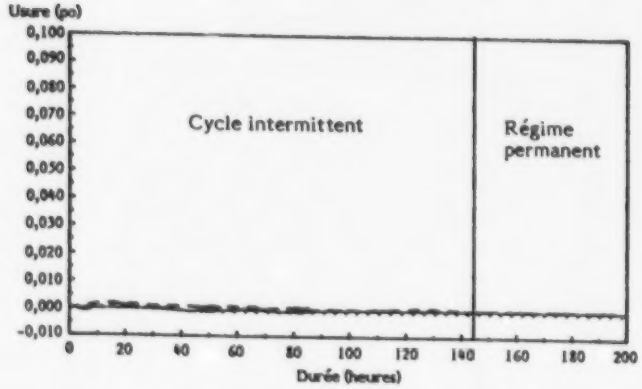


Figure B5

Usure des sièges de soupapes d'échappement IH 240, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb, 1er essai

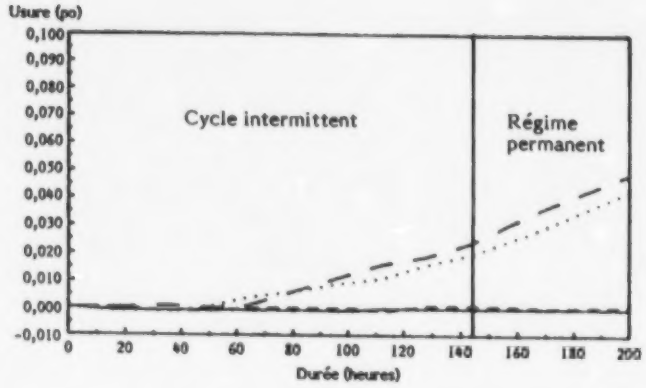


Figure B6

Usure des sièges de soupapes d'échappement IH 240, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb, 2e essai

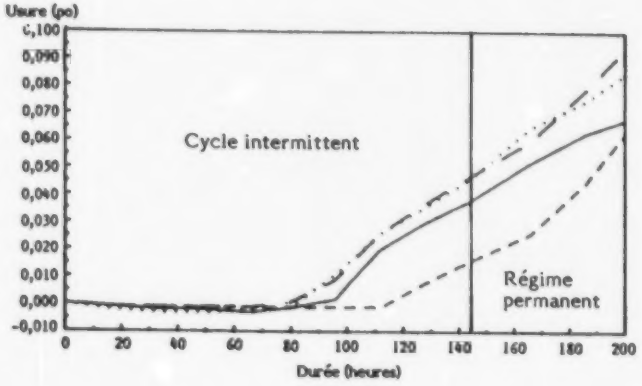


Figure B7

Usure des sièges de soupapes d'échappement IH 240, sièges de soupape rapportés en fonte, essence sans plomb, 3e essai

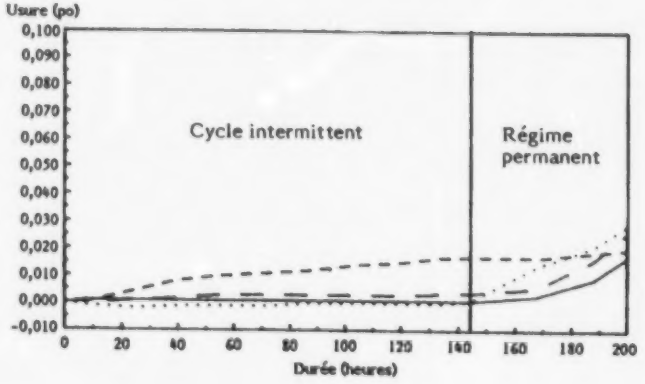


Figure B8

Usure des sièges de soupapes d'échappement Ford 8N, sièges de soupape rapportés en fonte, essence sans plomb

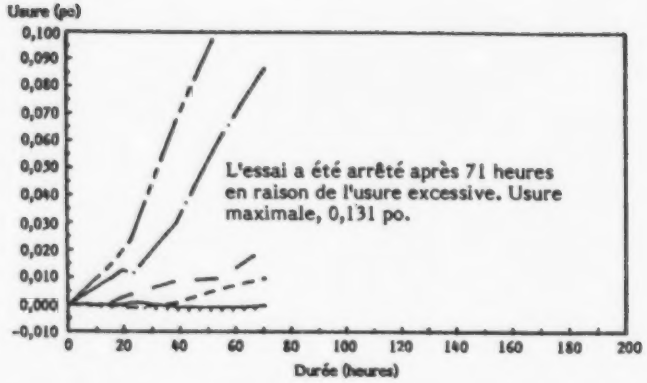


Figure B9

Usure des sièges de soupapes d'échappement GM 292-A, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb

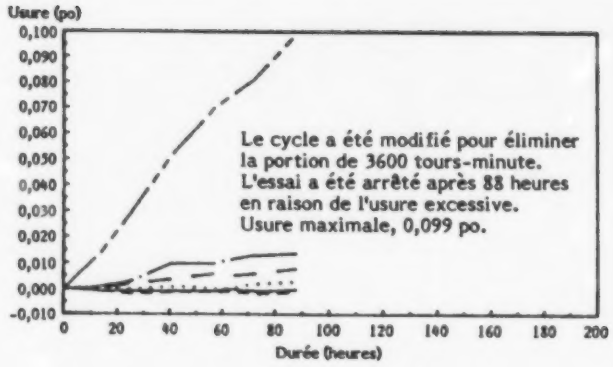


Figure B10

Usure des sièges de soupapes d'échappement GM 292-B, sièges de soupape en fonte, essence sans plomb, cycle plus faible

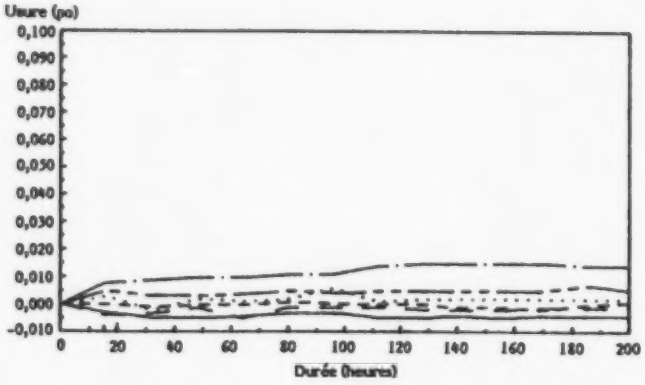


Figure B11

Usure des sièges de soupapes d'échappement GM 292-B, sièges de soupape en fonte durcis par induction, essence sans plomb

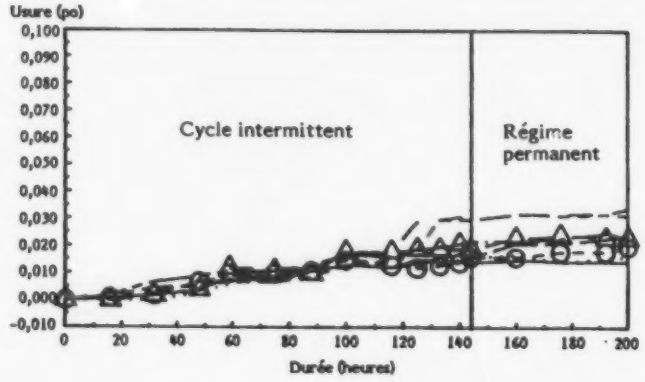


Figure B12

Usure des sièges de soupapes d'échappement GM 454, sièges de soupape en fonte durcis par induction, essence sans plomb

ANNEXE C

Tracteurs agricoles et moissonneuses-batteuses à essence et à diesel
(Estimations pour la période 1981 à 1993)

TRACTEURS AGRICOLES ET MOISSONNEUSES-BATTEUSES À ESSENCE ET À DIESEL (Estimations pour la période 1981 à 1993)

Tracteurs

Diverses sources ont été consultées pour estimer le nombre total de tracteurs à essence et à diesel qui seront en service en 1990. Ainsi, l'enquête menée en 1981 sur l'utilisation de l'énergie dans les exploitations agricoles a permis d'établir le nombre de tracteurs agricoles à essence et à diesel, en fonction de la grosseur des moteurs (14); ceux-ci ont été répartis entre trois catégories, soit 0 à 40 H.P., 40 à 99 H.P. et 100 H.P. et plus. Les données du recensement de 1986 ont permis de mettre à jour les données de 1981 sur le nombre de tracteurs et de calculer le taux d'accroissement de l'ensemble du parc.

Les chiffres sur les ventes ont été obtenus du rapport *Industry Outlook* du Canadian Farm and Industrial Equipment Institute (CFIEI), qui fait état des ventes annuelles d'équipement agricole.

Les estimations sur le nombre de tracteurs à essence et à diesel ont été établies à partir de ces renseignements de base et de quelques hypothèses. Cependant, comme les catégories de tracteurs établies pour la compilation des données sur les ventes et des données du recensement ne correspondent pas à celles utilisées dans le cadre de l'enquête sur l'utilisation de l'énergie dans les exploitations agricoles en 1981, le groupe de tracteurs d'une puissance inférieure à 100 H.P. a été subdivisé en deux catégories, soit 20 à 49 H.P et 50 à 99 H.P. Le nombre total de tracteurs à essence et à diesel est toutefois demeuré inchangé (14).

L'hypothèse utilisée dans tous les scénarios est que tous les tracteurs de plus de 20 H.P. vendus depuis 1981 étaient munis de moteurs diesel. Les chiffres précis sur les ventes ont été compilés entre 1981 et 1986. On a présumé par ailleurs que les ventes entre 1987 et 1992 seraient similaires à celles enregistrées en 1986, une année où les ventes ont été faibles.

Les taux de mise au rancart ont été calculés en soustrayant des ventes le taux d'accroissement annuel du parc. La plus grande difficulté a été de déterminer la proportion de tracteurs à essence qui seraient mis au rancart.

Pour ce faire, trois scénarios ont été utilisés. Selon le premier scénario, le nombre de tracteurs à essence mis au rebut était proportionnel à leur nombre total. Prenons l'exemple suivant: si les tracteurs à essence représentaient 44,92 p. 100 de tous les tracteurs de 20 à 49 H.P. en 1981, on a alors présumé que 44,92 p. 100 des tracteurs

mis au rebut étaient des tracteurs à essence. Selon la deuxième hypothèse, deux fois plus de tracteurs à essence que de tracteurs diesel ont été mis au rebut; enfin la troisième hypothèse présumait que seuls des tracteurs à essence ont été mis au rebut. Cependant, comme les tracteurs à essence sont en moyenne beaucoup plus vieux que les tracteurs diesel, le premier scénario surestime le nombre de tracteurs à essence encore en usage en 1993, alors que le troisième sous-estime ce nombre.

Les trois scénarios ont été examinés pour les tracteurs de 20 à 49 H.P., de 50 à 99 H.P. ainsi que pour tous les tracteurs de 20 à 99 H.P. Comme l'enquête de 1981 sur l'utilisation de l'énergie dans les exploitations agricoles a révélé que seulement 1,4 p. 100 des tracteurs de plus de 100 H.P. était à essence, on a présumé que tous les tracteurs de cette catégorie seraient alimentés au carburant diesel en 1993. L'exclusion des tracteurs de plus de 100 H.P. signifie que la proportion de tracteurs diesel est supérieure au chiffre indiqué pour la catégorie des 20 à 99 H.P.

Moissonneuses-batteuses

Les mêmes scénarios et méthodes ont été appliqués aux moissonneuses-batteuses; ces dernières ont toutefois été étudiées en un seul groupe plutôt que d'être réparties en fonction de leur taille. On note par ailleurs que le nombre de moissonneuses-batteuses est en baisse, en raison principalement de la plus grande taille et de la plus grande efficacité des nouveaux modèles.

TABLEAU C1 TRACTEURS DE 20 À 49 H.P.* (Scénario voulant que seuls des tracteurs à essence seront mis au rebut)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	80 598	98 826	179 424	44,92
1982	76 816	104 152	180 968	42,45
1983	73 034	109 478	182 512	40,02
1984	69 252	114 804	184 056	37,63
1985	65 470	120 130	185 600	35,27
1986	61 688	125 456	187 144	32,96
1987	57 906	130 782	188 688	30,69
1988	54 124	136 108	190 232	28,45
1989	50 342	141 434	191 776	26,25
1990	46 560	146 760	193 320	24,08
1991	42 778	152 086	194 864	21,95
1992	38 996	157 412	196 408	19,85
1993	35 214	162 738	197 952	17,79

Moyenne des ventes: 6870.

Accroissement moyen du parc: 1544.

* Pour convertir les H.P. en kilowatts, multiplier le nombre de H.P. par 0,746.

TABLEAU C2 TRACTEURS DE 50 À 90 H.P. (Scénario où le nombre de tracteurs à essence mis au rebut est proportionnel à leur nombre total)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	61 753	193 083	244 656	24,18
1982	59 949	196 889	256 838	23,34
1983	58 381	200 639	259 020	22,54
1984	56 867	204 335	261 202	21,77
1985	55 405	207 979	263 384	21,04
1986	53 992	211 574	265 566	20,33
1987	52 626	215 122	267 748	19,66
1988	51 306	218 624	269 930	19,01
1989	50 029	222 083	272 112	18,39
1990	48 794	225 500	274 294	17,79
1991	47 599	228 877	276 476	17,22
1992	46 443	232 215	278 658	16,67
1993	45 323	235 517	280 840	16,14

Moyenne des ventes: 8899.

Accroissement moyen du parc: 2182.

TABLEAU C3 TRACTEURS DE 50 À 99 H.P. (Scénario où le nombre de tracteurs à essence mis au rebut est le double de celui des tracteurs diesel)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	61 573	193 083	254 656	24,18
1982	58 957	197 881	256 838	22,96
1983	56 449	202 571	259 020	21,79
1984	54 045	207 157	261 202	20,69
1985	51 742	211 642	263 384	19,65
1986	49 536	216 030	265 566	18,65
1987	47 425	220 323	267 748	17,71
1988	45 403	224 527	269 930	16,82
1989	43 469	228 643	272 112	15,97
1990	41 618	232 676	274 294	15,17
1991	39 849	236 627	276 476	14,41
1992	38 156	240 502	278 658	13,69
1993	36 538	244 302	280 840	13,01

Moyenne des ventes: 8899.

Accroissement moyen du parc: 2182.

TABLEAU C4 TRACTEURS DE 50 À 99 H.P. (Scénario où seuls des tracteurs à essence sont mis au rebut)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	61 573	193 083	254 656	24,18
1982	54 856	201 982	256 838	21,36
1983	48 139	210 881	259 020	18,59
1984	41 422	219 780	261 202	15,86
1985	34 705	228 679	263 384	13,18
1986	27 988	237 578	265 566	10,54
1987	21 271	246 477	267 748	7,94
1988	14 554	255 376	269 930	5,39
1989	7 837	264 275	272 112	2,88
1990	1 120	273 174	274 294	0,41
1991	-	276 476	276 476	-
1992	-	278 658	278 658	-
1993	-	280 840	280 840	-

Moyenne des ventes: 8899.

Accroissement moyen du parc: 2182.

TABLEAU C5 TRACTEURS DE 20 À 90 H.P. (Scénario où le nombre de tracteurs à essence mis au rebut est proportionnel à leur nombre total)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	142 171	291 909	434 080	32,75
1982	138 227	299 579	437 806	31,57
1983	134 424	307 108	441 532	30,44
1984	130 758	314 500	445 258	29,37
1985	127 221	321 763	448 984	28,34
1986	123 809	328 901	452 710	27,35
1987	120 515	335 921	456 436	26,40
1988	117 335	342 827	460 162	25,50
1989	114 265	349 623	463 888	24,63
1990	111 298	356 316	467 614	23,80
1991	108 432	362 908	471 340	23,01
1992	105 661	369 405	475 066	22,24
1993	102 983	357 809	478 792	21,51

Moyenne des ventes: 15 769.

Accroissement moyen du parc: 3726.

TABLEAU C6 TRACTEURS DE 20 À 99 H.P. (Scénario où le nombre de tracteurs à essence mis au rebut est le double de celui des tracteurs diesel)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	142 171	291 909	434 080	32,75
1982	136 229	301 577	437 806	31,12
1983	130 513	311 019	441 532	29,56
1984	125 017	320 241	445 258	28,08
1985	119 737	329 247	448 984	26,67
1986	114 666	338 044	452 710	25,33
1987	109 798	346 638	456 436	24,06
1988	105 128	355 034	460 162	22,85
1989	100 649	363 239	463 88	21,70
1990	96 354	371 260	467 614	20,61
1991	92 239	379 101	471 340	19,57
1992	88 297	386 765	475 066	18,59
1993	84 522	394 270	478 792	17,65

Moyenne des ventes: 15 769.

Accroissement moyen du parc: 3726.

TABLEAU C7 TRACTEURS DE 20 À 90 H.P. (Scénario où seuls des tracteurs à essence sont mis au rebut)

Année	Tracteurs à essence	Tracteurs diesel	Total	Pourcentage des tracteurs à essence
1981	142 171	291 909	434 080	32,75
1982	133 854	303 952	437 806	30,57
1983	125 537	315 995	441 532	28,43
1984	117 220	328 038	445 258	26,33
1985	108 903	340 081	448 984	24,26
1986	100 586	352 124	452 710	22,22
1987	92 269	364 167	456 436	20,22
1988	83 952	376 210	460 162	18,24
1989	75 635	388 253	463 888	16,30
1990	67 318	400 296	467 614	14,40
1991	59 001	412 339	471 340	12,52
1992	50 684	424 382	475 066	10,67
1993	42 367	436 425	478 792	8,85

Moyenne des ventes: 15 769.

Accroissement moyen du parc: 3726.

TABLEAU C8 MOISSONNEUSES-BATTEUSES (Scénario où le nombre de machines mises au rebut est proportionnelle au nombre total)

Année	Moissonneuses-batteuses à essence	Moissonneuses-batteuses diesel	Total	Pourcentage des machines à essence	Ventes
1981	79 946	34 584	114 530	69,80	4 915
1982	76 151	37 858	114 009	66,79	3 796
1983	73 268	40 220	113 488	64,56	2 920
1984	71 046	41 921	112 967	62,89	2 710
1985	69 014	43 432	112 446	61,38	2 322
1986	67 270	44 655	111 925	60,10	2 580
1987	65 406	45 998	111 404	58,71	2 580
1988	63 585	47 298	110 883	57,34	2 580
1989	61 807	48 555	110 362	56,00	2 580
1990	60 070	49 771	109 841	54,69	2 580
1991	58 374	50 946	109 320	53,40	2 580
1992	56 718	52 081	108 799	52,13	2 580
1993	55 102	53 176	108 278	50,89	

Réduction moyenne du parc: 521.

TABLEAU C9 MOISSONNEUSES-BATTEUSES (Scénario où le nombre de machines à essence mises au rebut est le double de celui des machines à diesel)

Année	Moissonneuses-batteuses à essence	Moissonneuses-batteuses diesel	Total	Pourcentage des machines à essence	Ventes
1981	79 946	34 584	114 530	69,80	4 915
1982	75 477	38 532	114 009	66,20	3 796
1983	72 038	41 450	113 488	63,48	2 920
1984	69 365	43 602	112 967	61,40	2 710
1985	66 907	45 539	112 446	59,50	2 322
1986	64 786	47 139	111 925	57,88	2 580
1987	62 512	48 892	111 404	56,11	2 580
1988	60 283	50 600	110 883	54,37	2 580
1989	58 099	52 263	110 362	52,64	2 580
1990	55 960	53 881	109 841	50,95	2 580
1991	53 866	55 454	109 320	49,27	2 580
1992	51 819	56 980	108 799	47,63	2 580
1993	49 818	58 460	108 278	46,01	

Réduction moyenne du parc: 521.

TABLEAU C10 MOISSONNEUSES-BATTEUSES AUTOPROPULSÉES (Scénario où seules des machines à essence sont mises au rebut)

Année	Moissonneuses-batteuses à essence	Moissonneuses-batteuses diesel	Total	Pourcentage des machines à essence	Ventes
1981	79 946	34 584	114 530	69,80	4 915
1982	73 989	40 020	114 009	64,90	3 796
1983	69 151	44 337	113 488	60,93	2 920
1984	65 189	47 778	112 967	57,71	2 710
1985	61 437	51 009	112 446	54,64	2 322
1986	58 073	53 852	111 925	51,89	2 580
1987	54 451	56 953	111 404	48,88	2 580
1988	50 829	60 054	110 883	45,84	2 580
1989	47 207	63 155	110 362	42,77	2 580
1990	43 585	66 256	109 841	39,68	2 580
1991	39 963	69 357	109 320	36,56	2 580
1992	36 341	72 458	108 799	33,40	2 580
1993	32 719	75 559	108 278	30,22	

Réduction moyenne du parc: 521.

ANNEXE D

Liste des associations contactées

LISTE DES ASSOCIATIONS CONTACTÉES

1. Canadian Machine Builders Association.
2. Association des manufacturiers de machines et d'équipement du Canada.
3. Western Canadian Wheat Growers Association.
4. Canadian Farm and Industrial Equipment Institute.
5. Fédération canadienne de l'Agriculture*.
6. Association pour la navigation de plaisance au Canada.
7. Conseil canadien des pêches.
8. Fishing Vessel Owners Association of British Columbia.
9. Dominion Marine Association.
10. Atlantic Fishing Vessel Association[a].
11. Fédération nautique du Canada.
12. Association des industries de l'automobile.
13. Association canadienne des automobilistes.
14. Fédération canadienne du sport automobile.
15. Société des fabricants de véhicules à moteur[b].
16. Club des conducteurs canadiens.
17. Dominion Automobile Association.
18. Truck Loggers Association.
19. Association canadienne du camionnage*.
20. Conseil de l'industrie de la motocyclette et du cyclomoteur.
21. Association motocycliste canadienne*.
22. The Antique and Classic Boat Society Inc.[c].
23. Vintage Car Club of Canada.
24. Antique and Classic Car Club of Canada.
25. La Fondation Craven.
26. Canadian Outdoor Power Equipment Association*.

---

* Réponse reçue par Environnement Canada.

[a] Réponse présentée par la Sable Fish Packers Limited, de Clark's Harbour (Nouvelle-Écosse).

[b] Réponse formulée par la General Motors.

[c] Réponse formulée par le Manotick Classic Boat Club.